INTENSITÄTSVERTEILUNG DER X-STRAHLEN, DIE VON EINER PLATINAANTIKATHODE AUSGEHEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
(II. SEKTION)

DER

KGL. BAYR. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
ZU MÜNCHEN

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT IM JULI 1911

VON

WALTER FRIEDRICH
AUS SALBKE BEI MAGDEBURG.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1912.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEM VATER

GEWIDMET.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545824_0026

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 7
II. Kompensation der X-Strahlenröhrenwand 10
III. Versuche, die die Abhängigkeit der Intensität vom Azimut photographisch nachweisen 15
IV. Vergebliche Versuche, eine quantitative photographische Messung der Intensitätsverteilung zu erreichen 28
V. Versuche, die die Abhängigkeit der Intensität sowie der Härte vom Azimut elektrisch nachweisen und messen 32
VI. Versuche über die Intensitätsverteilung um Azimut 180° . . 58
VII. Diskussion und Zusammenfassung der Resultate 64

I. Einleitung.

Die ersten Untersuchungen über die Intensitätsverteilung der X-Strahlen hat schon W. C. Röntgen[1]) im Jahre 1897 gemacht. Mit einem Photometer verglich er die Intensität des Fluoreszenzlichtes von Bariumplatincyanürschirmen, die sich in verschiedenen Emissionsrichtungen der X-Strahlen in gleichem Abstande von der Antikathode befanden. Auch exponierte er photographische Films, die um die Platinplatte der Entladungsröhre als Mittelpunkt zu einem Halbkreis gebogen waren. Als Resultat dieser Versuche erhielt er, daß die X-Strahlen eine nahezu gleichmäßige Intensitätsverteilung hatten. Erst bei einem Emanationswinkel von 80° konnte er eine geringe Abnahme der Bestrahlung bemerken. Die Hauptänderung der Intensität fand er erst zwischen 89° und 90°.

Später sind diese Untersuchungen von anderen Seiten wohl mehr vom praktisch-medizinischen Standpunkte aus wieder aufgenommen worden. Im besonderen Walter[2]) hat die photographischen Versuche Röntgens mit einigen Abänderungen wiederholt. Ebenso wie dieser schon findet er, daß die verschiedene Dicke der Röhrenglaswand, die die X-Strahlen vor ihrer Messung durchsetzen müssen, von wesentlichem Einfluß für sein Resultat ist. Unter Verwendung des bekannten Absorptionsgesetzes

$$J_1 = J_0 e^{-\beta d},$$

versuchte er auf rechnerischem Wege den Einfluß ungleichmäßiger Röhrenwandstärke zu eliminieren und kommt zu dem-

1) W. C. Röntgen, Berl. Ber. 1897. p. 395.
2) B. Walter, Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **11.** 1907.

selben Ergebnis wie Röntgen, nämlich nahezu gleichmäßige Intensitätsverteilung. Er diskutiert auch ausführlich die Absorption der X-Strahlen in der Antikathode selbst, indem er annimmt, daß die X-Strahlen auch in einiger Tiefe der Antikathode entstehen und somit bei größeren Emissionswinkeln mehr Antikathodenmaterial durchsetzen müssen, um nach außen zu gelangen, als bei kleineren Winkeln. Bei einem Absorptionskoeffizienten für Pt der Kathodenstrahlen von 61 600 cm^{-1} und für Pt der X-Strahlen von 1920 cm^{-1} ergibt sich bei ihm ca. 1 Proz. Absorption der X-Strahlen in der Antikathode für Emissionswinkel 50°, während für Winkel $> 80^0$ die Absorption schnell wächst. Für 70° ist sie ca. 4 Proz., für 85° bereits 18 Proz. Dadurch erklärt er dann das schon von Röntgen angegebene Resultat des schnellen Abnehmens der Intensität bei Winkeln $> 80^0$.

Durch den Nachweis der Polarisation der X-Strahlen von Barkla[1]), Bassler[2]), Sadler[3]) und anderen ist die Frage nach der Intensitätsverteilung wieder aktuell geworden. Denn die durch das tatsächliche Vorhandensein einer Polarisation bestätigte elektromagnetische Impulstheorie der X-Strahlen ließ eine Abhängigkeit der Intensität wie auch der Härte vom Azimut erwarten; d. h. von dem Winkel, den die Achse des die X-Strahlen erzeugenden Kathodenstrahlbündels mit der Achse eines X-Strahlbündels bildet. Die Intensität müßte senkrecht zur Richtung der Kathodenstrahlen größer sein als parallel dazu, die Härte mit abnehmendem Azimut wachsen.

Von ähnlichem Gesichtspunkte aus hat Bassler in Anschluß an seine Versuche über die Abhängigkeit der Polarisation vom Azimut schon einige Intensitätsverteilungsmessungen ausgeführt. Seine Resultate sind indessen nur eine Ergänzung der Versuche von Röntgen und Walter insofern, als sie nach einer elektrischen Methode ausgeführt sind. In der vorliegenden Arbeit habe ich nun auf Anregung von Prof. Dr. Röntgen mit möglichst einwandfreien Methoden unter besonderer Berücksichtigung der Röhrenwandstärkevariation sowohl photo-

1) C. G. Barkla, Phil. Trans. (A) **204**. p. 467—479. 1905.
2) E. Bassler, Ann. d. Phys. **28**. p. 808—884. 1909.
3) Ch. A. Sadler, Phil. Mag. **18**. p. 107—132. 1909.

graphisch wie elektrisch nochmals die Abhängigkeit der Intensität der X-Strahlen einer Pt-Antikathode vom Azimut untersucht.[1])

Nachdem ich den photographischen Teil meiner Arbeit schon abgeschlossen hatte, erschienen die Veröffentlichungen von J. Stark[2]), der ebenfalls auf photographischem Wege die Intensitätsverteilung bei der Emission von X-Strahlen einer Kohlenantikathode gemessen hat. Er kommt im wesentlichen zu qualitativ denselben Resultaten, wie ich bei den Versuchen mit einer Pt-Antikathode. Die Effekte waren indessen bei ihm weit stärker ausgeprägt wohl aus folgendem Grunde.

Nach gegenwärtiger Ansicht — zuerst von Barkla[3]), dann von J. Stark[2]) ausgesprochen —, die auch durch Versuche gestützt wird, ist die Gesamtstrahlung der Antikathode einer X-Strahlröhre komplexer Natur. Sie besteht erstens aus Strahlen, die durch die Bremsung der Kathodenstrahlteilchen in der Antikathode erzeugt werden, und dann aus einer Art Fluoreszenzstrahlung der Antikathode, deren Intensität von dem Material der Antikathode abhängig ist. Die erstere muß nach der Theorie Polarisation zeigen, letztere dagegen gleichmäßig verteilt sein. Je stärker die Fluoreszenzstrahlung ist im Vergleich zur Bremsstrahlung, je weniger muß ein Polarisationseffekt bei der Gesamtstrahlung ausgeprägt sein.

Stark verwandte nun eine Kohlenantikathode, die nach Versuchen von Herweg[4]) zu schließen wenig Fluoreszenzemission hat. Bei Pt, das ich als Antikathodenmaterial benutzte, ist diese nach unseren Erfahrungen relativ groß zur Stoßemission.

Es ist wohl auch dies die Ursache, weshalb alle Versuche — auch Stark[5]) findet bei Pt-Srahlen keine Abhängigkeit —, eine Abhängigkeit der Intensität vom Azimut bei einer Pt-Antikathode zu finden, bisher erfolglos geblieben sind.

---

1) Einige Vorversuche hierüber waren bereits 1908 im hiesigen Institut angestellt. Die weitere Untersuchung war indessen durch den Weggang des betreffenden Studierenden von München unterbrochen worden.

2) J. Stark, Phys. Zeitschr. **10.** p. 579. 1909.

3) C. G. Barkla, Proc. Cambridge Phil. Soc. **15.** p. 257. 1909.

4) J. Herweg, Ann. d. Phys. **29.** p. 398. 1909.

5) J. Stark, Phys. Zeitschr. **10.** p. 902. 1909.

Auf Einzelheiten dieser Arbeit, sowie auf eine Veröffentlichung von R. Ham[1]), der eine Bleiantikathode benutzte und zur Messung eine elektrische Methode anwandte, wird unten noch näher zurückzukommen sein.

II. Kompensierung der Röhrenwand.

Zu den Versuchen wurde zunächst eine käufliche, sogenannte Fokusröhre von Gundelach in Gehlberg verwandt. Wie schon erwähnt, variiert die Dicke der Glaswand einer solchen Röhre stark mit dem Azimut. Da es von vornherein aussichtslos erschien, die Messungen (besonders nach der elektrischen Methode) innerhalb der Röhre selbst auszuführen, so war es eine notwendige Bedingung, daß die X-Strahlen in den verschiedenen Richtungen vor ihrer Messung durch Glas von genau derselben Dicke gingen. Diese wurde dadurch erfüllt, daß auf die ungleich dicke Glaswand der Röhre Glasplättchen von entsprechender Art und Dicke aufgelegt wurden, so daß schließlich die X-Strahlen in allen zu messenden Richtungen dieselbe Glasschicht durchdringen mußten. Im folgenden sei die Ausführung dieser Kompensation näher beschrieben.

1. Methode der Dickenmessung.

Die gewöhnlichen Methoden der Dickenmessung konnten natürlich hier nicht angewandt werden, weil ja die Röhre allseitig geschlossen war. Die Messung geschah daher nach folgender Überlegung.

Auf der Vorder- und Rückseite der Röhrenwand befinde sich je eine gut sichtbare kleine Marke. Um nun mit einem Mikroskop von der einen auf die andere einzustellen, sei eine Verschiebung des Tubus um eine Strecke h notwendig. Dann kann man mit genügender Annäherung setzen

$$D = h \cdot n,$$

wo D die Dicke der Röhrenwand bedeuten soll. n ist eine

1) R. Ham, Phys. Rev. **30.** p. 96—121. 1910.

Konstante, die hier von dem Brechungsexponenten des Glases und der Krümmung der Glasoberfläche abhängig ist.

Das Mikroskop, das zur Messung verwandt wurde, war ein gutes Zeisssches, dessen Mikrometerschraube eine Verschiebung des Tubus um 0,005 mm direkt ablesen ließ. Die Richtigkeit der Mikrometerschraube wurde mit einem Zeissschen Dickenmesser auf folgende Art nachgeprüft.

In die Fußplatte dieses Sphärometers, auf dem sonst die gläserne Auflagescheibe lag, wurde genau unter dem Maßstab des Instrumentes ein Loch gebohrt. Es wurde dann so aufgestellt, daß der Tubus des Mikroskopes mit dem Okularende durch dieses Loch hindurchragte, und die Verschiebung des Tubus sowohl an der Mikrometerschraube des Mikroskopes als auch an dem Maßstab des Dickenmessers abgelesen werden konnte, der auf das Okular aufgesetzt war. Für Parallelität der Verschiebungsrichtung des Tubus und des Maßstabes war Sorge getragen. Wurde dann beispielsweise der Kopf der Mikrometerschraube 10 mal gedreht, so bedeutete dies eine Verschiebung des Tubus um 2,5 mm, weil die Schraube eine Ganghöhe von $^1/_4$ mm besaß. Die Verschiebung mußte dann auch nach dem Sphärometer genau 2,5 mm betragen, wenn die Schraube des Mikroskopes richtig war. Mehrere derartige Versuche an verschiedenen Teilen der Schraube ergaben eine recht gute Übereinstimmung beider Meßvorrichtungen.

Der Faktor n aus obiger Formel wurde empirisch bestimmt. Zu diesem Zwecke wurde ein Glaskolben von demselben Durchmesser wie die verwandte X-Strahlröhre, der von Gundelach aus demselben Glase und zu gleicher Zeit wie diese geblasen war, aufgeschnitten und Stücke von verschiedener Dicke ausgesucht. Bei diesen wurde nun erstens mit dem Mikroskop die Verschiebung des Tubus gemessen, die notwendig war, um auf Vorder- und Rückseite einzustellen. — Irgendwelche Marken zur Einstellung der Flächen anzubringen erwies sich als überflüssig, weil stets selbst bei der angewandten 200 fachen Vergrößerung noch sehr kleine Staubteilchen auf diesen hafteten, auf die sehr genau eingestellt werden konnte. — Dann wurde die Dicke der Glasplättchen an derselben Stelle mit einem Sphärometer gemessen. Da nun D sowie h gemessen waren, konnte n aus der erwähnten Formel berechnet

werden. Aus einer großen Anzahl von derartigen Messungen ergab sich $n = 1{,}531$.

Die Genauigkeit dieser Methode der Dickenmessung betrug bei einer durchschnittlichen Dicke des gemessenen Glases von 1 mm $\pm$ 1 Proz. Durch wiederholte Messungen an derselben Stelle konnte die Genauigkeit noch vergrößert werden. Es fragte sich nun, welchen Einfluß konnte ein Fehler von obiger Größenordnung bei der Kompensation der Röhrenwand auf die Intensitätsmessung haben. Eine Überschlagsrechnung ergab unter Anwendung des bekannten Absorptionsgesetzes

$$J_1 = J_0 \, e^{-\beta d}$$

nachstehendes Resultat. Bei einer Gesamtdicke des Glases von 2 mm, auf die die Kompensation ausgeführt werden sollte, und einem Dickenunterschied von 2 Proz. beträgt die Differenz in der durchgelassenen Intensität nicht ganz 3 Proz. Der Absorptionskoeffizient des Glases für X-Strahlen war als 6,1 cm^{-1} angenommen. Die bisherigen Messungen der Polarisation durch Sekundärstrahlen ließen indessen größere Intensitätsunterschiede als 3 Proz. erwarten, und die Anwendung einer derartig kompensierten Röhre schien daher empfehlenswert zu sein.

2. Ausführung der Röhrenwandmessung.

Der Tisch und der Fuß des Mikroskopes, mit dem die Messung ausgeführt werden sollte, gestattete es nicht die Röhre dem Objektiv so weit zu nähern, daß eine Einstellung möglich war. Daher wurde die Säule mit dem Tubus und der Mikrometerschraube vom Fuße abgeschraubt und an ein Stativ befestigt, das aus einem Messingstück und einer Schraubenzwinge improvisiert war. Mit der letzteren wurde es an eine Tischplatte festgemacht. Diese Einrichtung erlaubte nun die Einstellung der Röhrenwand an jeder in Frage kommenden Stelle. Die Dickenmessung der Röhre geschah zweckmäßig in der Ebene, die durch die Achse des Kathodenstrahlbündels und ihres Einfallslotes auf der Antikathode bestimmt war (Einfallsebene). Es wurden im ganzen 14 Stellen in dieser Ebene ausgewertet.

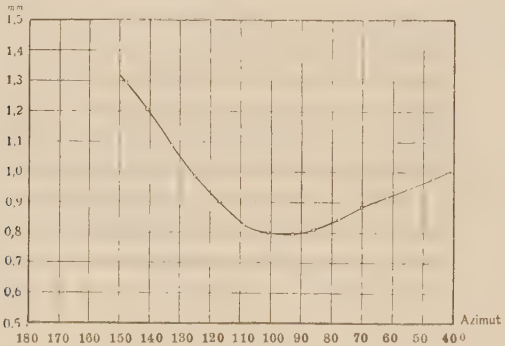
Die Messung selbst erfolgte folgendermaßen. Zunächst wurde in der oben erwähnten Ebene die Stelle, deren Wandstärke gemessen werden sollte, durch eine kleine schwarze Marke festgehalten. Dann wurde die Röhre an einem geeigneten Stativ so vor den Tubus des Mikroskopes aufgestellt, daß die Achse des Tubus durch die Marke und den matten Fleck auf der Antikathode, dem aus vorhergehenden Versuchen bekannten Auftreffpunkt der Kathodenstrahlen und Ausgangspunkt der X-Strahlen, ging. Auf diese Weise wurde stets die Glasdicke gemessen, die auch die X-Strahlen durchlaufen mußten. Nun wurde auf die kleinsten Staubteilchen, die sich dicht neben der Marke in der Mitte des Gesichtsfeldes befanden, mehrere Male, im allgemeinen je 5 mal auf Vorder- und Hinterfläche eingestellt und das Mittel genommen. In derselben Weise wurde die Messung an jedem der 14 Punkte auf zwei entgegengesetzt benachbarte Stellen der Marke vorgenommen. Folgende Tabelle zeigt die Resultate der Messung. In der zweiten Spalte stehen die zu den 14 Punkten gehörenden Azimute. Die Bezeichnung „Azimut“ sei wie bereits erwähnt, auf den Winkel angewandt, den die Achse des Kathodenstrahlenbündels mit der Geraden, die durch den Ausgangspunkt der X-Strahlen und durch die jeweilige kompensierte Stelle der

Tabelle 1.

Nr.	Azimut	A	B	C	$C \cdot n$
1	148°	0,850	0,843	0,847	1,295
2	141	0,790	0,789	0,790	1,208
3	133	0,712	0,709	0,711	1,089
4	125	0,641	0,648	0,645	0,987
5	117	0,592	0,586	0,589	0,902
6	109	0,544	0,538	0,541	0,828
7	103	0,525	0,523	0,524	0,802
8	93	0,522	0,518	0,520	0,797
9	86	0,532	0,528	0,530	0,812
10	78	0,555	0,548	0,552	0,845
11	70	0,578	0,578	0,578	0,886
12	62	0,598	0,600	0,599	0,917
13	55	0,620	0,614	0,617	0,945
14	47	0,635	0,643	0,639	0,979

Röhrenwand geht, der Achse des benutzten X-Strahlenbündels, bildet. *A* und *B* zeigen die entgegengesetzt benachbarten Ausmessungswerte für die einzelnen Punkte in Millimeter Tubusverschiebung; *C* das Mittel davon. In der sechsten Reihe schließlich sind die berechneten Wandstärken eingetragen, ebenfalls in Millimeter.

In graphischer Darstellung 1 ist die Dicke der Röhrenwand als Funktion des Azimutes aufgetragen. Wie man sieht, nimmt die Dicke vom Kathodenansatzrohr an zunächst stark ab, um bei ungefähr Azimut 95° ein Minimum zu erreichen. Dann wächst sie wieder langsam.



Graphische Darstellung 1.

3. Kompensationsplättchen.

Nachdem nun die Wandstärke der Röhre in der nötigen Weise bestimmt war, mußten die Glasplättchen beschafft werden, die die Glaswand auf eine bestimmte Dicke — bei vorliegender Kompensation auf 2 mm — abglichen. Dabei wurden folgende Momente im Auge behalten. Erstens mußten die Plättchen aus demselben Glase bestehen wie die Röhre; zweitens mußten sie dieselbe entgegengesetzte Keilförmigkeit der Dicke besitzen wie die dazu gehörende Röhrenwandstelle, um auf der ganzen Breite des Plättchens zu kompensieren; und drittens mußten sie dieselbe Krümmung haben, wie die Röhrenwand. Diese drei Forderungen wurden auf nachstehende Weise erfüllt.

Aus einem ähnlichen Kolben wie der, aus dem die Gläser zur Bestimmung des Faktors n entnommen waren, wurde der Länge nach entsprechend der Richtung, in der bei der Röhre die Wandstärke gemessen war, ein Streifen von 15 mm Breite herausgeschnitten. Dieser Streifen enthielt alle zur Kompensation notwendigen Glasdicken. Für jeden der ausgemessenen Punkte der Röhre wurde nun mit einem Sphärometer die entsprechende Glasdicke unter Berücksichtigung der Stärke der Keilförmigkeit auf dem Streifen ausgesucht, ein passendes Plättchen von ca. 10 mm Breite herausgeschnitten und numeriert. Die zu den Marken auf der Röhrenwand gehörenden Stellen wurden wiederum angemerkt.

Tab. 2 zeigt in Kolonne 3 die Dicke der Röhrenwand, in Spalte 4 die zur Kompensation auf 2 mm notwendige berechnete Dicke der Glasplättchen, und in Kolonne 5 steht die tatsächliche Dicke der Plättchen; alles wiederum in Millimeter.

Tabelle 2.

Nr.	Azimut	Dicke der Röhrenwand	ber. Dicke der Glaspl.	gemess. Dicke der Glaspl.
1	148°	1,295	0,705	0,707
2	141	1,208	0,792	0,793
3	133	1,089	0,911	0,914
4	125	0,987	1,013	1,014
5	117	0,902	1,093	1,098
6	109	0,828	1,172	1,173
7	103	0,802	1,198	1,200
8	93	0,797	1,203	1,202
9	86	0,812	1,188	1,191
10	78	0,845	1,155	1,154
11	70	0,886	1,114	1,113
12	62	0,917	1,083	1,083
13	55	0,945	1,055	1,055
14	47	0,979	1,021	1,022

Zum Schluß wurden dann die Plättchen mit Leinwandklebstreifen in der richtigen Weise so auf die Röhre befestigt, daß die Marken auf der Röhre und den Plättchen koinzidierten.

III. Versuche, die die Abhängigkeit der Intensität vom Azimut photographisch nachweisen.

1. Versuchsanordnung.

Das Prinzip der nachstehenden Versuche war das schon erwähnte, einen photographischen Film, der um den Ausgangspunkt der X-Strahlen auf der Antikathode als Mittelpunkt zu einem Kreisstück gebogen war, zu exponieren und dessen Schwärzung nach der chemischen Behandlung zu messen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendungsmöglichkeit der photographischen Methode ist die örtliche Konstanz der Empfindlichkeit der photographischen Schicht. Bekanntlich wird diese Voraussetzung nicht vollständig erfüllt. Es finden sich immer wieder Stellen — ohne die eigentlichen Plattenfehler, die direkt ins Auge fallen, zu berücksichtigen —, an denen die Empfindlichkeit von der mittleren nicht unbeträchtlich abweicht. Um diese Fehlerquelle einigermaßen zu beseitigen, wurden bei jedem Versuch zwei aufeinandergelegte Films benutzt. Bei der Ausphotometrierung konnten dann eventuelle Empfindlichkeitsabweichungen erkannt werden.

Eine andere Voraussetzung der Anwendungsmöglichkeit einer photographischen Methode ist gleiche Qualität der Strahlen in den verschiedenen Azimuten in bezug auf ihre Durchdringungsfähigkeit. Denn Strahlen von gleicher Intensität, aber verschiedenem Durchdringungsvermögen, ionisieren in der photographischen Schicht verschieden; bringen also bei gleicher Intensität verschiedene Schwärzungen hervor. Diese Voraussetzung war wohl von vornherein als annähernd erfüllt anzunehmen.[1])

Bei der Konstruktion der Versuchsanordnung waren folgende Punkte zu beachten. Erstens mußte sich der Film leicht in die Kreisform festlegen lassen, deren Radius womöglich geändert werden konnte. Zweitens mußte der Ausgangspunkt der X-Strahlen leicht in den Mittelpunkt des Filmbogens einstellbar sein; und dann mußte der Film vor fremden Strahlen geschützt werden, die auf seine verschiedenen Teile verschieden

1) Vgl. unten.

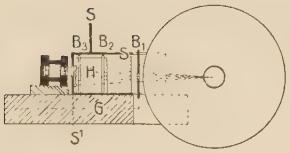


Fig. 1.

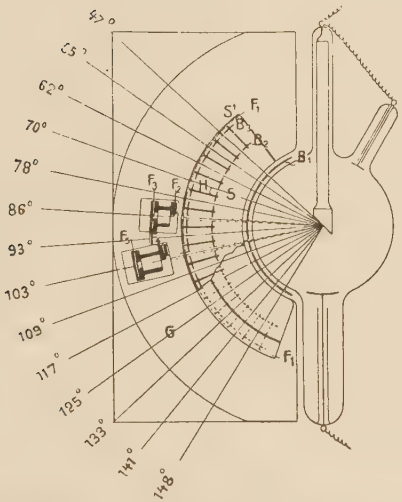


Fig. 2.

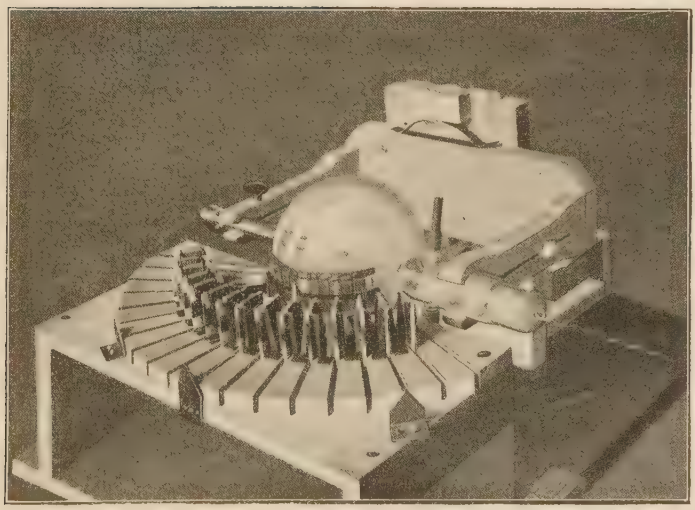


Fig. 3.

stark einwirken und das Resultat verwischen oder ein falsches vortäuschen konnten.

Figg. 1 und 2[1]) zeigen schematisch in Vertikal- und Horizontalprojektion die Versuchsanordnung.

Fig. 3 gibt ein photographisches Bild davon, auf dem alle wichtigen Teile leicht zu erkennen sind. (Die hintere und obere Schutzvorrichtung waren übersichtshalber vor der Aufnahme entfernt; ebenfalls Blende B_1.)

In den nächsten Abschnitten sind nun die einzelnen Teile der Versuchsanordnung näher beschrieben.

Grundplatte. Die Grundplatte G bestand aus einem zur Vermeidung eines Verziehens dreimal geleimten 3 cm starken Holzbrettes von 40 cm Länge und 18 cm Breite, auf das mit schwarzer Tusche eine Reihe konzentrischer Kreisbögen in je einem Zentimeter Abstand aufgezeichnet war. Auf der Seite der Bögen mit kleinem Radius war ein Kreisabschnitt mit 8 cm Radius herausgesägt, so daß die X-Strahlröhre mit dem Antikathodenfleck als Mittelpunkt der Kreisbögen aufgestellt werden konnte und zwar mit der Achse des Kathodenstrahlbündels parallel einer Längskante der Grundplatte. Auf die Platte wurden nun 20 kreisausschnittförmige Holzklötze von 15 mm Dicke derartig aufgeleimt, daß zwischen je zwei Klötzen eine schmale, zu den Kreisbögen auf dem Grundbrett senkrechte Nute entstand.[2]) Auf der Oberseite der Klötze waren die gleichen Kreisbögen wie auf der Grundplatte aufgezeichnet. Die Größe und der Abstand der Klötze war so bemessen, daß ihre Mittellinien mit der inneren Längskante des Grundbrettes und somit auch mit der Achse des Kathodenstrahlbündels Winkel bildeten, die den Azimuten der kompensierten Röhrenwandpunkten entsprachen.

Diese Grundplatte war auf eine Art Holzbank geschraubt und auf einen Tisch mit Schraubenzwingen befestigt.

Filmhalter. Zum Festhalten des Films F_1 in der Kreisbogenlage dienten Holzbrettchen H von 32 mm Breite, 53 mm

---

1) Die in den beiden Zeichnungen hinter dem kreisbogenförmigen Film sichtbaren Kästchen gehören nicht zu diesen Versuchen. Sie sind später in Teil IV beschrieben.

2) Vgl. Fig. 3.

Höhe und 2 mm Dicke, an deren schmaler Seite in einer Höhe von 18 mm kleine Federn[2]) angebracht waren, hinter die der Film geklemmt wurde. Die Brettchen konnten mittels kleiner Holzkeile senkrecht zur Grundplatte in die radialen Nuten in jeweilig gewünschtem Abstande vom Mittelpunkt der Kreisbögen befestigt werden. Wenn z. B. also alle Brettchen so eingestellt waren, daß ihre Hinterkanten mit den Federn mit dem auf dem Grundbrett aufgezeichneten Kreisbogen vom Radius 15 cm zusammenfielen, so hatte auch ein Film, der hinter die Federn geklemmt war, diese Krümmung.

Schutzvorrichtungen. Als Schutzmittel gegen die Einwirkung von fremden Strahlen wurde Bleiblech bzw. sogenannter „Bleigummi" benutzt. Letzterer (der viel in der Medizin zu gleichem Zwecke angewandt wird) hat neben der großen Undurchlässigkeit für X-Strahlen noch die bemerkenswerte Eigenschaft, ein beträchtliches Isolationsvermögen für Elektrizität zu besitzen. Durch seine Anwendung wurde eine Häufung von Metallmassen in nächster Nähe der Röhre umgangen, bei der bekanntlich die Röhre schlecht anspricht.

Das Prinzip der Schutzvorrichtungen war, einmal mittels einer Reihe geeigneter Blenden die Strahlen herauszublenden, die durch die kompensierte Röhrenwand gingen, um sie auf den Film einwirken zu lassen; und dann Schirme anzubringen, daß überall von den Sekundärstrahlen, die sich nicht vermeiden lassen, nur solche von derselben Art und Stärke auf alle Teile des Films gleichmäßig treffen konnten.

Die erste der Blenden von der Antikathode aus gerechnet B_1 bestand aus einem 5 cm breiten Streifen aus Bleigummi, auf dessen Mittellinie mit einem Locheisen 14 gleiche Löcher von 6 mm Durchmesser geschlagen waren. Ihr Abstand voneinander war so bemessen, daß beim Auflegen des Streifens auf die Röhre ihre Mittelpunkte mit den kompensierten Röhrenwandpunkten, die durch Marken bezeichnet waren, zum Decken gebracht werden konnten. Die Blende wurde dann in dieser Lage mittels Wachskitt auf der Röhre befestigt.

Um ganz sicher zu gehen, daß auf die zu den verschiedenen Azimuten gehörenden Teile des Filmbogens auch nur

1) Vgl. Fig. 3.

Strahlen vom jeweiligen Azimut einwirkten, wurden weitere Blenden B_2 und B_3 verwandt, die auf den Filmhalterbrettchen in folgender Weise angebracht waren. Von dem Bleigummi wurden kleine rechteckige Stücke von der Höhe der aus den Nuten des Grundbrettes vorstehenden Brettchen hergestellt. Aus diesen wurde in der Mitte ein der Dicke der Brettchen entsprechender Streifen herausgeschnitten, so daß ⊓-förmige Reiter entstanden. Je zwei von ihnen wurden in Einkerbungen hintereinander in 30 mm Abstand über ein Brettchen gehängt.[1]) Ihre Breite war so gewählt, daß zwischen je zwei Filmhaltern ein ca. 8 mm breiter Spalt blieb, durch den die X-Strahlen dann auf den Film gelangen konnten.

Das Holz zwischen den Filmhaltern war mit Bleiblech bzw. Bleigummi überdeckt, um Sekundärstrahlen, die eventuell aus dem Innern des Holzes kamen, abzuhalten. Auf die Oberkanten der Halter wurde ein breites ringförmiges Stück Bleigummi S gelegt, um auch die Strahlen, die von der oberen Glaskugelhälfte der X-Strahlenröhre den Film treffen konnten, abzublenden. Der hintere Schutz des Films bestand aus einem 2 mm starken Bleiblech S', das zu einem Kreisbogen gebogen war und dicht an den Film anlag.

Durch die ganze Schutzvorrichtung waren wohl die fremden Strahlen in genügender Weise vom Film abgehalten.

Im ersten Augenblicke mag es unvorteilhaft erscheinen, einen Körper von so großem Atomgewicht wie Blei als Schutzmittel zu nehmen wegen der großen zu erwartenden Intensität der Sekundärstrahlung von diesem selbst. Nachstehende Überlegung spricht indessen doch für die Anwendung von Blei.

Bei Körpern mit kleinem Atomgewicht wie Holz kommen, wie Versuche gezeigt haben, die Sekundärstrahlen zum großen Teil aus dem Inneren. Bei Metallen wie Blei dagegen entstehen sie nur an der Oberfläche, weil die Primärstrahlen nur in geringe Tiefe eindringen, und die dort entstehenden Sekundärstrahlen wohl kaum die Oberfläche erreichen. Die annähernde Proportionalität der Intensität der Sekundärstrahlung mit dem Atomgewicht gilt nur dann, wenn die Dicke der von

1) Vgl. Figg 2 und 3.

den Primärstrahlen durchsetzten Schicht bei den verschiedenen Körpern dieselbe ist. Bei dicken Körpern kann daher die Intensität der Sekundärstrahlung des Körpers mit kleinem Atomgewicht größer sein als die eines gleich großen mit viel größerem Atomgewicht bei derselben Primärstrahlung und Auftrefffläche derselben. Da bei der vorliegenden Versuchsanordnung immerhin beträchtliche Dicken von Holz verwandt werden mußten, so war also die Intensität der Sekundärstrahlen von dem Holze als relativ groß anzunehmen. Zur gleichmäßigen Verteilung der sekundären Strahlen in bezug auf die verschiedenen Teile des Films wäre außerdem bei völliger Vermeidung von Metallschutzvorrichtungen eine ganz andere unhandlichere Konstruktion der Versuchsanordnung nötig gewesen. Die Herstellung des ganzen Apparates aus einem Material von kleinem Atomgewicht bietet also keinen Vorteil gegenüber der Verwendung von Bleischutzvorrichtungen bei im ganzen einfacherer und bequemerer Konstruktion.

Ein Grund läßt die Verwendung von Blei direkt vorteilhaft erscheinen. Bekanntlich sind die Sekundärstrahlen, die vom Blei ausgehen, viel durchdringenderer Art wie die von einem Material mit kleinem Atomgewicht. Da nun diese in der photographischen Schicht viel weniger ionisieren als jene von den Körpern mit kleinem Atomgewicht, so wird bei gleicher Intensität beider Strahlungsgattungen die Schwärzung durch Bleistrahlen geringer sein. Deshalb werden diese als Fehlerquelle auch weniger in Betracht kommen.

Einstellvorrichtungen.[1]) Es war, wie unten schon erwähnt ist, notwendig, daß der Film genau um den Ausgangspunkt der X-Strahlen als Mittelpunkt kreisförmig gebogen war. Zur Einstellung der Apparatur in diese Lage wurde die Röhre in einen Halter aus Holz befestigt, der sie an Kathoden- und Antikathodenansatzrohr festhielt. Schlittenverschiebung und Stellschrauben ermöglichten es leicht, die Röhre in die gewünschte Stellung zu bringen. Der Mittelpunkt der konzentrischen Kreise auf der Grundplatte und somit auch des in die Halter eingesetzten Filmbogens war durch drei Visiere,

1) Die Ausführung der Einstellung ist unter Kapitel „Gang des Versuches“ beschrieben.

bestehend aus Loch und Schneide, in der richtigen Höhe über der Grundplatte im Raume festgehalten.

Stromquellen. Zur Erzeugung der X-Strahlen wurde meistens eine 40 plattige Influenzmaschine von Toepler benutzt, daneben zur schnellen Einstellung, zum „Härten" der Röhre usw. ein großer Klingelfussinduktor, der mit einem Klingelfussschen Kontaktunterbrecher betrieben wurde.

Films. Als beste Filmsorte mit gleichmäßiger Schicht und Empfindlichkeit wurden Lumièreplanosefilms gefunden und verwandt. Auch Eastmanfilms erwiesen sich als recht gut brauchbar.

2. Gang des Versuches.

Nachdem alle Filmhalter auf dem Kreise mit gewünschtem Radius eingestellt waren und die Blenden und sonstigen Schutzvorrichtungen mit Ausnahme des Bleistreifens, der den Film von hinten schützte, in die richtige Lage gebracht waren, wurde die Röhre nach vorausgegangener Säuberung von Staub und Feuchtigkeit in das Röhrenstativ eingesetzt. Durch Verstellen der Einstellvorrichtungen des Stativs wurde zunächst erreicht, daß die drei Visiere auf den matten Fleck der Antikathode zeigten.[1]) Dabei war Sorge getragen, daß die Achse der Röhre mit der Längskante der Grundplatte parallel war. Dann wurde die Röhre so lange um ihre Achse gedreht, bis die kompensierten Röhrenwandpunkte in die Ebene gebracht waren, die durch die Visiere und den Antikathodenfleck bestimmt war. Die Mittellinie eines Films von 1 cm Breite, der nun in die Filmhalter eingesetzt wurde, fiel dann ebenfalls in diese Ebene.

Nach erfolgter Einstellung der Apparatur wurden die Films vorbereitet. Mit einer aus 1 cm-Vierkantenmessingstangen improvisierten Schablone wurden in einem durch eine dunkelrote Lampe sehr schwach beleuchteten Zimmer aus einem Film 1 cm breite, ca. 30 cm lange Streifen geschnitten. — Die Länge war je nach dem Radius des Filmbogens ver-

1) Kontrollversuche der visuellen Einstellung mit den X-Strahlen der Röhre selbst ergaben sowohl mit einem Fluoreszenzschirm wie auch auf photographischem Wege, daß der Antikathodenfleck wirklich der Ausgangspunkt der X-Strahlen war.

schieden. — Je zwei von ihnen wurden so aufeinander gelegt, daß die lichtempfindlichen Schichten beide nach oben zeigten, und in dünnes schwarzes Papier gewickelt, das in zwei Lagen Vorder- und Rückseite bedeckte. Hierbei wurden nur Streifen aus der Mitte des großen Films genommen, weil die äußeren stets Randschleier zeigten. Auch wurde ein Berühren der Schicht mit den Fingern nach Möglichkeit vermieden.

Der Doppelfilm wurde dann mit der nötigen Vorsicht, ohne das Papier zu verletzen, in die Filmhalter mit der Schichtseite der Röhre zugekehrt eingesetzt, und schließlich die hintere Bleischutzwand angelegt.

Darauf erfolgte die Bestrahlung. Die zur Erzielung einer günstigen Schwärzung nötige Expositionszeit war durch einen Vorversuch ermittelt. Sie schwankte zwischen 5 Sek. und 2 Min. je nach der Härte der Röhre und der Stromstärke der Influenzmaschine. Vor jedem Versuch war außerdem die Härte der Strahlen an dem Schatten der Hand auf dem Fluoreszenzschirm geprüft.[1])

Bei der chemischen Behandlung der belichteten Films mußte einige Sorgfalt verwandt werden. Besonders die Entwickelung mußte so geschehen, daß alle Teile des immerhin bis 70 cm langen Filmstreifens genau die gleiche Zeit im Entwickler blieben. Auf folgende einfache Weise wurde eine wohl völlig einwandfreie Behandlung erzielt.

In der Dunkelkammer wurde der belichtete Film zunächst aus seiner Papierhülle befreit, und seine beiden Teile durch eine kleine Drahtklammer aneinander geklemmt. Der lange Filmstreifen wurde dann mit der Schichtseite nach außen auf ein weites Glasrohr spiralenförmig aufgewickelt und seine Enden dort befestigt. Der Entwickler befand sich in einem hohen Becherglase, ebenso das Fixierbad. — In allen Fällen wurde Metol-Hydrochinonentwickler von der üblichen Zusammensetzung mit Bromkali benutzt. — In das Glas, das den Entwickler enthielt, wurde nun das Glasrohr mit dem Film schnell hineingetaucht, und ein Rührer, der innerhalb

1) Bei den späteren Versuchen wurde die Spannung an einer parallelen Funkenstrecke zwischen Zinkkugeln von bekanntem Radius gemessen.

des Rohres angebracht war, in Tätigkeit gesetzt. Dadurch wurde der Entwickler während der ganzen Entwickelungsdauer in Bewegung gehalten. Bei der geringen Dicke der photographischen Schicht der Lumièrefilms waren 5 Min. vollauf genügend, um ganz durchzuentwickeln.

Nach beendeter Entwickelung wurde das Rohr mit dem Film herausgezogen, schnell in Wasser abgespült und in das Fixierbad gebracht, wo es 10 Min. verblieb. Hierauf wurde der Film von dem Rohr abgewickelt, in der üblichen Weise gewässert und getrocknet. Die so behandelten Films zeigten keine Spur von Schleier; die Projektion der Blendenspalte auf dem Film waren scharf, die dazwischen liegenden Teile klar.

Die Ausmessung der Schwärzung der Films erfolgte mittels eines von Töpfer-Potsdam gelieferten Hartmannschen Mikrophotometers. Der photographische Meßkeil des Apparates war mit der beigegebenen Normalschwärzungsskala geeicht. Der Silberkreis des Lummer-Brodhunschen Würfels im Instrumente grenzte aus dem zu photometrierenden Film ein Gebiet aus, dessen Durchmesser bei der angewandten Mikroskopvergrößerung 0,5 mm betrug. Der Film war während der Ausmessung zwischen zwei dünne Glasstreifen gepreßt, um ihn in einer bestimmten Lage festzuhalten. Es wurden der Reihe nach alle 14 geschwärzten Stellen eines Films, die von den 14 durch die kompensierte Röhrenwand und die Blendenöffnungen hindurchgegangenen X-Strahlbündeln hervorgebracht waren, ausphotometriert; und zwar wurde in der Mitte einer jeden schwarzen Stelle an drei benachbarten Orten je dreimal eingestellt. Aus den neun Einstellungen jeder Stelle wurde dann das arithmetische Mittel genommen.

3. Ergebnisse.

Derartige Versuche wurden nun in erheblicher Anzahl bei verschiedenem Durchdringungsvermögen der X-Strahlen und verschiedenem Abstande des Films von der Antikathode gemacht. Dabei zeigte es sich, daß der Abstand des Films in den durch die Versuchsanordnung bedingten Grenzen (10 bis 20 cm) keinen nennenswerten Einfluß auf das Resultat hatte.

Es war auch ohne wesentliche Bedeutung, ob Influenzmaschine oder Induktor als Stromquelle verwandt wurde, wenn bei Benutzung des Induktors vor die X-Strahlröhre eine Ventilröhre geschaltet wurde, die den Schließungsstrom des Induktors von der X-Strahlröhre abhielt. In den allermeisten Fällen wurde jedoch die Influenzmaschine bevorzugt wegen der besser definierten Spannung.

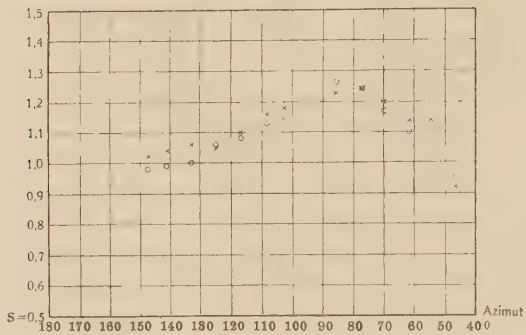
In der folgenden Tab. 3 und in den dazu gehörenden graphischen Darstellungen 2 bis 4 haben wir ein Bild der erhaltenen Versuchsergebnisse.

Tabelle 3.

Nr.	Azimut	Sehr weiche Strahlen		Mittelweiche Strahlen		Mittel aus 15 Versuchen in %
		v. Film	h. Film	v. Film	h. Film	
1	148°	0,98	1,02	—	—	−11
2	141	0,99	1,04	1,34	1,28	−11
3	133	1,00	1,06	1,31	1,24	−12
4	125	1,06	1,05	1,35	1,25	−10
5	117	1,08	1,10	1,37	1,30	− 9
6	109	1,13	1,17	1,36	1,31	− 8
7	103	1,15	1,18	1,43	1,39	− 5
8	93	—	—	1,48	—	—
9	86	1,27	1,23	1,53	1,46	0
10	78	1,24	1,24	1,53	1,38	− 2
11	70	1,17	1,20	1,59	1,45	− 1
12	62	1,10	1,14	1,59	1,48	− 3
13	55	1,12	1,14	1,53	1,45	− 5
14	47	0,95	0,92	1,28	1,20	−26

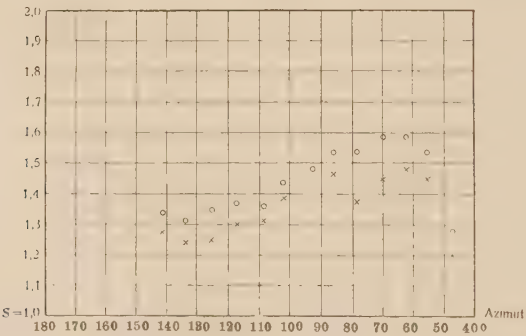
Spalte 3 sowie graphische Darstellung 2 zeigt die Schwärzungswerte eines der Versuche mit sehr weichen Strahlen; und zwar sind sowohl die Werte des vorderen (mit ⊙ bezeichnet) wie auch die des hinteren Films (mit × bezeichnet) des erwähnten, bei jedem Versuche benutzten Doppelfilms eingetragen. Der Schatten der Hand auf dem Fluoreszenzschirm war ganz schwarz; die Knochen ließen sich noch nicht erkennen. Die Expositionszeit betrug 2 Min.; der Film befand sich in einem Abstande von 14,0 cm von dem Ausgangspunkt der X-Strahlen.

Wie man sieht, ist eine Abhängigkeit der Schwärzung vom Azimut in der Tat vorhanden. Das Maximum der Schwärzung liegt hier bei ca. 80° Azimut.



Graphische Darstellung 2.

In Spalte 4 und graphischer Darstellung 3 haben wir einen der Versuche mit sogen. mittelweichen Strahlen. Die

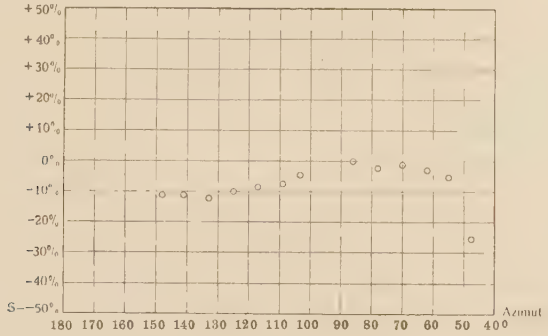


Graphische Darstellung 3.

Knochen der Hand ließen sich sehr gut mit ihrer Struktur erkennen; die Fleischteile waren ziemlich schwach erkennbar. Die Expositionsdauer war 10 Sekunden. Der Abstand des Films von der Emissionsstelle wiederum 14,0 cm.

Auch bei diesem Versuche sind augenscheinlich Schwärzungsunterschiede vorhanden; das Maximum liegt hier bei ca. 65° Azimut.

In der 5. Kolonne der Tab. 3 und in graphischer Darstellung 4 endlich sind die Mittelwerte eingezeichnet, die von 15 der besten bei verschiedener Härte der X-Strahlen ausgeführten Versuchen gewonnen sind. Um die Einzelversuche besser miteinander in Beziehung bringen zu können, sind hierbei bei jedem Versuche die Einzelwerte nicht in Schwärzung direkt, sondern in prozentualen Schwärzungsunterschieden von Feld Nr. 9 (Azimut ca. 90°) gemessen. Diese Differenzen sind dann für jedes Feld gemittelt. Das Maximum liegt hier bei ca. 75° Azimut.



Graphische Darstellung 4.

Mit Strahlen von größerem Durchdringungsvermögen als „mittelweich“ war es unmöglich Versuche anzustellen, weil unter diesen Umständen die Röhre wegen der Nähe der immerhin nicht unbeträchtlichen Metallmassen der Schutzvorrichtung nicht ansprach.

Als Endresultat der vorstehenden Versuche ergibt sich neben dem schon bekannten, daß die Intensität der X-Strahlen stark abnimmt zwischen Emissionswinkel 80° und 90° entsprechendem Azimut 55° und 45°, folgendes.

Die Intensität der X-Strahlen, die von einer Pt-Antikathode ausgehen, ist abhängig vom Azimut. Das Maximum der Intensität liegt nicht bei Azimut 90°, also senkrecht zu der Richtung der Kathodenstrahlen, sondern ist nach der Seite der kleineren Azimute verschoben. Je größer die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen ist, desto größer ist die Verschiebung.

IV. Vergebliche Versuche, eine quantitative photographische Messung der Intensitätsverteilung zu erreichen.

Zahlreiche photographische Versuche hatten gezeigt, daß eine Abhängigkeit der Intensität vom Azimut vorhanden ist. Es war nun von größtem Interesse, auch die gefundene Abhängigkeit quantitativ zu messen. Die Schwärzungsmessungen des vorhergehenden Teiles direkt als Intensitätsmessungen anzusehen, geht nicht an. Angenommen, es wären auch die aus den Blenden austretenden X-Strahlen in allen Richtungen von demselben Durchdringungsvermögen, und es wäre eine verschieden starke Absorption der Strahlen von gleicher Intensität in der photographischen Schicht vermieden, so ist die Empfindlichkeit der photographischen Platte für Intensitätsunterschiede bei verschieden starker Schwärzung verschieden groß. Außerdem spielt die Temperatur des Entwicklers, seine Zusammensetzung usw. noch eine große Rolle.

Nach folgender Methode schien es jedoch möglich, auf photographischem Wege quantitative Resultate zu erzielen.

J. Hartmann[1]) hat den Satz aufgestellt: zwei photographisch wirksame Strahlungsintensitäten gleicher Wellenlänge können als einander gleich betrachtet werden, wenn sie in gleichen Zeiten auf eine photographische Platte gleiche Schwärzung hervorbringen.

Nehmen wir nun das quadratische Gesetz als gültig an bei der Strahlung unserer X-Strahlenröhre, so können wir uns folgende Anordnung denken.

In derselben Weise, wie im vorhergehenden Teil der Arbeit beschrieben ist, sei ein langer Filmstreifen um die Emissionsstelle der X-Strahlen als Mittelpunkt zu einem Kreisbogen von bekanntem Radius gebogen. Ferner seien ungefähr in dem Azimut, bei dem die größte Schwärzung gefunden war, weitere kleine Filmstückchen hinter dem langen Film in immer größer werdenden Abständen vom Ausgangspunkt der X-Strahlen aufgestellt, und zwar so, daß sie sämtlich von dem nämlichen Strahlenbündel direkt getroffen werden. Die Filmstückchen

1) G. Hartmann, Zeitschr. f. Instrumentenk. 19. p. 97. 1899.

seien in derselben Weise wie der lange Film gegen fremde Strahlen geschützt.

Bei gleicher Expositionszeit und nach gleicher chemischen Behandlung sämtlicher Films haben wir somit auf dem langen Film die Schwärzungen, die die X-Strahlen in den verschiedenen Azimuten in gleichem Abstande von der Antikathode hervorgebracht haben. Auf den kleinen Films die Schwärzungen, die die Strahlen eines bestimmten Azimuts in verschiedenen bekannten Abständen von der Emissionsstelle erzeugt haben. Aus den letzteren und der Schwärzung, die der lange Film bei diesem Azimut gezeigt hat, können wir eine Kurve zeichnen, die den Abfall der Schwärzung mit dem Abstande verbindet. Da wir angenommen hatten, daß die Strahlen in allen Richtungen dieselbe Qualität besitzen, so ist es nunmehr möglich, die Schwärzungsverteilung des langen Films ungefähr in Intensitätsverteilung umzurechnen.

Für Schwärzungen größer als die des langen Films bei Azimut 90° ist eine Extrapolation des Abstandes bei dem zu erwartenden geringen Schwärzungsunterschied nach der Abfallskurve wohl ohne weiteres gestattet.

Bei der Realisierung der eben beschriebenen Methode war eine Schwierigkeit zu überwinden. Wie schon erwähnt, müssen sämtliche Films von den X-Strahlen direkt getroffen werden, d. h. außer der Röhrenwand und der zwischen Röhre und Film befindlichen Luftschicht darf kein absorbierendes Medium durchstrahlt werden.

Für den langen Film war diese Bedingung ohne weiteres bei der früheren Versuchsanordnung erfüllt.

Es fragte sich nun, wie konnte dies an der Stelle erreicht werden, wo mehrere hintereinander befindliche Films von ein und demselben Strahlenbündel, dessen Durchmesser in der in Frage kommenden Entfernung von der Antikathode nur ca. 1 cm betrug, getroffen werden sollten; und außerdem ein jeder von ihnen noch gegen fremde Strahlen in gleicher Weise geschützt werden sollte.

Zunächst wurde die Anzahl der in einer Richtung hintereinander aufgestellten Films auf drei beschränkt, den langen Film mit eingerechnet. Um jedoch mehr Punkte für die Abfallskurve zu erhalten, wurden in zwei Richtungen, entsprechend

Azimut 86° und 103°, Films hintereinander aufgestellt. Der Abstand des langen Films betrug 14 cm von der Emissionsstelle, der der kleinen Filme bei Azimut 86° 15 und 17 cm, bei Azimut 103° 16 und 19 cm.

Die Ausnutzung der Strahlenbündel war folgende.

Die untere Hälfte der Bündel traf den langen Film. Dicht über diesem war die rückwärtige Bleischutzwand an den entsprechenden Stellen durchbohrt, so daß die andere Hälfte hindurchgehen konnte. Von dieser wiederum gelangte die eine Hälfte auf den ersten der hinteren Films, während die andere Hälfte den zweiten traf.

Die Einzelheiten der Konstruktion der Anordnung sieht man am besten aus Fig. 1 und 2.

In den beiden Richtungen sind die Films F_2 F_3 und F_4, F_5 in Bleikästchen[1]) eingesetzt, die unter Zwischenschaltung von Holzklötzen in der entsprechenden Höhe und richtigem Abstande auf dem Grundbrett festgekittet waren. Diese schützten die Films in der nötigen Weise gegen fremde Strahlen und bedingten zugleich ihren richtigen Abstand von der Antikathode.

Die Einstellung der Apparatur war im großen und ganzen dieselbe, wie in Abschnitt III beschrieben ist. Die Röhre mußte hier $^1/_2$ cm höher über dem Grundbrett eingestellt werden, da ja nur die untere Hälfte der durch die Blenden begrenzten Strahlenbündel den langen Film treffen sollte. Die Visiere wurden daher auch dementsprechend erhöht.

Der Gang des Versuches, Entwickelung des Films, sowie Ausphotometrierung blieb ebenfalls wie früher. Es wurden wiederum jedesmal Doppelfilms verwandt, auch bei den kleinen Films, die wie die langen ebenfalls in zwei Lagen schwarzen Papiers eingehüllt waren.

Obgleich wohl die Annahme der Brauchbarkeit dieser Versuchsanordnung berechtigt war, und obwohl sehr viele Versuche damit angestellt wurden, konnten die erwünschten Resultate damit nicht erzielt werden. Die Unregelmäßigkeit der Empfindlichkeit der photographischen Schicht erwies sich hierbei doch als so bedeutend, daß sie die Möglichkeit dieser

1) In der Fig. 1 ist übersichtshalber nur das Kästchen bei Azimut 94° gezeichnet.

quantitativen Bestimmung ausschloß. Selbst die aus den Schwärzungswerten eines Doppelfilms gezeichneten zwei Abfallskurven waren in den meisten Fällen nicht einmal einander ähnlich.

Indessen haben diese Versuche zu einigen Nebenresultaten geführt, die für die weiteren Versuche als Fingerzeige dienen konnten, und deshalb sind sie hier beschrieben worden.

Folgende Tab. 4 zeigt in der ersten Spalte die Abstände in Zentimeter an, in denen die Films eines der besten Versuche aufgestellt waren. Die zweite Kolonne enthält die entsprechenden gemessenen Schwärzungen derselben. In der

Tabelle 4.

14	2,17	2,17
15	1,89	2,03
16	1,78	1,92
17	1,71	1,83
19	1,60	1,69

dritten Spalte sind Schwärzungen eingetragen, die nach dem quadratischen Gesetz aus den Abständen, ausgehend von dem ersten Schwärzungswert, in Kolonne 2 berechnet sind mit der Annahme, daß Schwärzung proportional Intensität ist.

Wie man sieht, nimmt die gemessene Schwärzung zu Beginn erheblich schneller ab wie die berechnete. So große Abweichungen der berechneten von den gemessenen Werten sind indessen nicht wahrscheinlich, und die Ursache hierfür kann wohl in folgendem gefunden werden.

Neben der eigentlichen X-Strahlenquelle auf der Antikathode haben wir noch die Röhrenwand selbst als Quelle einer beträchtlichen Sekundärstrahlung. Die letztere liegt aber den photographischen Films viel näher als die erste (vgl. Fig. 2) und die von ihr ausgehende Strahlung trägt ebenfalls zur Schwärzung der Films bei. Nimmt man bei diesen Strahlen gleichfalls das quadratische Gesetz als gültig an, so erklären sich oben erwähnte Abweichungen nun ohne Schwierigkeit von selbst.

Für weitere Versuche wird es daher angebracht sein, die Meßvorrichtung nicht in großer Nähe der Röhre aufzustellen.

Films in größeren Entfernungen als die verwandten aufzustellen ist insofern nicht zweckmäßig, weil diese (Doppelfilms) dann eine so bedeutende Länge erreichen würden, daß die chemische Behandlung derselben sich nicht mehr einwandfrei würde durchführen lassen.

Ein anderes, wenn auch durch die Unregelmäßigkeit der Films nicht sicheres Ergebnis war folgendes:

Es zeigte sich sehr oft, daß die Schwärzung im Azimut 103° mit dem Abstande schneller abnahm als im Azimut 86°. Demnach würden die Strahlen im Azimut 103° weicher sein als im Azimut 86°.

Nähere Untersuchungen hierüber wurden auf diesem Wege nicht ausgeführt, weil die Versuche von vornherein aussichtslos erschienen wegen der erwähnten Unsicherheit der Methode und der Kleinheit des Effektes.

Es wurden aber mit einer elektrischen Methode, die wohl nicht solchen Zufälligkeiten wie die photographische unterworfen war, diese Versuche wieder aufgenommen und dieses immerhin beachtenswerte Ergebnis näher untersucht.

V. Versuche, die die Abhängigkeit der Intensität sowie der Härte vom Azimut elektrisch nachweisen und messen.

1. Versuchsanordnung.

Da es ohne große Umständlichkeiten wohl nicht möglich ist, die Intensität aller in Frage kommenden Strahlungsrichtungen zu gleicher Zeit elektrisch zu untersuchen, so mußte eine Methode angewandt werden, die von einer Änderung der Allgemeinintensität der X-Strahlenröhre während des Versuches möglichst unabhängig war.

Das Prinzip der benutzten Methode, einer Nullmethode, war folgendes.

In der Einfallsebene der Röhre treffen die X-Strahlen auf zwei genau gleiche Kondensatoren. Diese sind in gleichem Abstande vom Ausgangspunkt der X-Strahlen aufgestellt, und zwar der eine fest in einem bestimmten Azimut der Röhre, der andere drehbar um die Emissionsstelle in der Einfallsebene. Beide Kondensatoren bestanden aus je zwei Metall-

platten, die parallel der sie passierenden X-Strahlen aufgestellt waren. Die unteren Platten beider Kondensatoren waren miteinander und gleichzeitig mit dem Elektrometer verbunden, während die beiden oberen Platten auf entgegengesetzte Potentiale (+ 200 und — 200 Volt) geladen waren. Die X-Strahlen passieren vor beiden Kondensatoren je zwei gleichgroße Diaphragma und ionisieren die Luft zwischen den Platten und ein Teil der Ladung der oberen Platten geht auf die mit dem Elektrometer verbundenen über. Dieses empfängt also gleichzeitig positive und negative Ladung. Werden nun beide Kondensatoren von gleich intensiven Strahlen getroffen, so geht auf das Elektrometer die gleiche positive und negative Elektrizitätsmenge über, und die Nadel bleibt in Ruhe. Ein Überschuß der einen Elektrizität weist dann auf eine größere oder geringere Intensität der X-Strahlen in der einen Richtung hin.

Indem nun der drehbare Kondensator um den Ausgangspunkt der X-Strahlen gedreht wird, kann die Intensität bei verschiedenen Azimuten, gemessen im drehbaren Kondensator, mit der Intensität bei einem bestimmten Azimut, gemessen im festen Kondensator, verglichen werden und eine eventuelle Abhängigkeit der Intensität vom Azimut gefunden werden. Voraussetzung dabei ist, daß sich die Kapazität des Systems bei Drehung nicht ändert. Um eventuell gefundene Intensitätsunterschiede wirklich zu messen, wird außerdem die Intensität der X-Strahlen in dem bestimmten Azimut an und für sich bestimmt, indem der bewegliche Kondensator abgeblendet wird; also X-Strahlen nur den festen Kondensator treffen können. Da die Kapazität des Systems dabei dieselbe bleibt, können Differentialmessung und Intensitätsmessung im festen Kondensator allein in Beziehung gesetzt werden, vorausgesetzt, daß sich die Intensität der X-Strahlen im allgemeinen nicht wesentlich, wenigstens nicht sprungweise, ändert.

Bei der experimentellen Ausführung der eben im Prinzip dargelegten Methode und Versuchsanordnung mußten folgende Punkte besonders berücksichtigt werden.

Erstens mußte darauf geachtet werden, daß sich die Kapazität des mit dem Elektrometer in Verbindung stehenden Kondensatorsystems bei der Drehung des einen Kondensators

nicht änderte, weil sonst die einzelnen Messungen ja nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden konnten.

Zweitens mußten Sekundärstrahlen in den Kondensatoren möglichst vermieden werden, weil sich deren Intensität bei geringfügigen Härteänderungen der Röhre beträchtlich ändert, während die Intensität der primären X-Strahlen unter diesen Umständen bei weitem nicht in dem Maße schwankt.

Drittens war zu beachten, daß die Kapazität des Elektrometersystems tunlichst klein gemacht wurde und seine Isolation möglichst vollkommen, um bei kurzen Expositionszeiten noch geringe Intensitätsunterschiede messen zu können.

Schließlich mußte noch für einen guten Schutz gegen elektrostatische Störungen sowie gegen solche durch die X-Strahlen selbst Sorge getragen werden.

Im folgenden sind nun die einzelnen Teile der Versuchsanordnung näher beschrieben.

Fig. 5 zeigt das Wesentliche der Anordnung im Aufriß; Fig. 6 im Grundriß im Maßstabe ca. 1 : 13.

Fig. 4 veranschaulicht noch im einzelnen die Einrichtung eines Kondensators im Maßstabe 1 : 5.

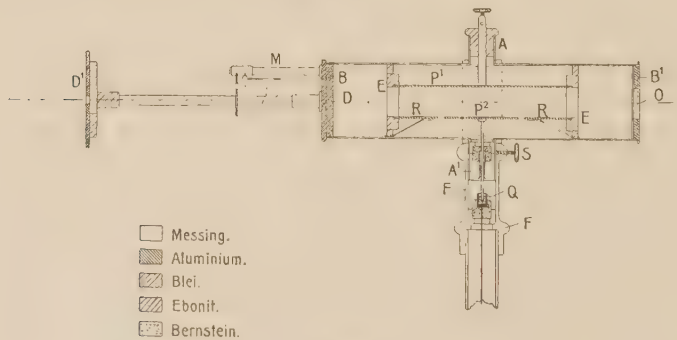


Fig. 4.

Kondensatoren. Die beiden genau gleichen Kondensatoren waren folgendermaßen gebaut.

In eine runde Messingröhre von 20 cm Länge und 5 cm Durchmesser waren zwei aus 1 mm starkem Aluminium hergestellte Platten P^1 und P^2 (vgl. Fig. 4) isoliert eingebaut. Die obere Platte P^1, zur Aufnahme des hohen Potentials be-

stimmt, von rechteckiger Gestalt, war 12 cm lang und 3,5 cm breit und wurde durch die ringförmigen Ebonitstützen E parallel zur Achse der Messingröhre festgehalten. Von ihr führte ein Messingstift mit Klemmschraube durch einen Ebonitstopfen, der in dem Ansatzrohr A steckte, nach außen. Die untere Platte P^2, die mit dem Elektrometer verbunden werden sollte, war ebenfalls rechteckig (5 × 1,5 cm) und wurde von einem Kupferstift parallel der Platte P^1 in 2 cm Abstand davon getragen, der seinerseits durch ein zweites, dem ersten entgegengesetztes Ansatzrohr A^1 durch Bernstein isoliert hindurch ging. P^2 ließ sich durch eine Klemmführung in der Höhe verstellen. Der Sicherheit halber war P^2 noch mit einem Schutzring R umgeben, der von den Stützen E gehalten wurde und durch kleine Federn mit der Messingröhre leitend verbunden war.

Auf der vorderen der X-Strahlenröhre zugekehrten Seite war die Messingröhre durch eine 10 mm starke Bleischeibe B geschlossen, in der zentral eine 3 mm große kreisförmige Öffnung D gebohrt war, die das in den Kondensator eintretende X-Strahlenbündel begrenzen sollte. Auf die Öffnung war ein dünnes Deckgläschen gekittet. Der hintere Deckel B^1 war aus Aluminium hergestellt mit einer 2 cm großen runden Öffnung, die, um möglichst wenig Sekundärstrahlen im Kondensator zu erhalten, nur durch dünnen Karton geschlossen war.

Zwei an den vorderen Deckel angebrachte Glasstäbe von 15 cm Länge hielten noch ein Diaphragma D^1, das aus einer Bleigummischeibe von 7 cm Durchmesser mit zentraler runder Öffnung von 5 mm Größe bestand. Diaphragma D^1, Öffnung D und Messingröhre waren genau zentriert.

An dem einen Kondensator war außerdem am vorderen Deckel oben eine kurze, 6 cm lange Messingstange M eingesetzt, auf die ein Rohrstückchen mit Reibung aufgeschoben werden konnte, an dem zwei durch Scharniere aufklappbare Halter zum beliebigen Einschalten absorbierender Medien in den Strahlengang befestigt waren.

Kondensatorhalter. Die Halter dienten erstens dazu, die Kondensatoren in der gewünschten Lage zur X-Strahlröhre festzuhalten, und zweitens zur Aufnahme und gleichzeitigem elektrostatischen Schutz der Zuleitungen der unteren Konden-

satorplatten zum Elektrometer. Sie bestanden aus starkem Messingrohr von 20 mm Durchmesser.

Der Halter des festen Kondensators H^1 (Figg. 5 und 6) war einmal im rechten Winkel gebogen, und zwar war der vertikale Teil 53 cm lang und der horizontale 25 cm. Die Biegung wurde durch Einschalten eines Winkelstückes aus Gußeisen, wie es bei den Isolierröhren für elektrische Starkstromleitungen System Peschel verwandt wird, erreicht. Innerhalb des Halters lief koaxial ein dünner blanker Kupferdraht, der zum Elektrometer führte, an den Enden und im Winkel durch Bernsteinstützen gehalten und isoliert. Der Draht endete oben in ein kleines Kupfernäpfchen Q (Fig. 4), das innen amalgamiert war und Quecksilber enthielt.

Auf das obere Ende des Halterrohres war zur Aufnahme des Kondensators ein federndes Messingrohrstück F (Fig. 4) aufgeschraubt, in das das untere Ansatzrohr A^1 des Kondensators hineinpaßte. Dabei tauchte der amalgamierte Kupferstift, der die Platte P^2 trug, in das kleine Näpfchen Q ein und bedingte einen sicheren Kontakt mit der Elektrometerleitung. Durch die Schraube S konnte der Kondensator auf dem Halter fixiert werden.

Der Halter wurde in ein starkes Bunsenstativ gespannt und auf die Platte eines kräftigen Tisches festgeschraubt.

Der bewegliche Kondensator sollte, wie schon erwähnt ist, drehbar sein in einer bestimmten Ebene um den Ausgangspunkt der X-Strahlen. Der Halter H^2 (Figg. 5 und 6) war daher folgendermaßen gebaut.

Aus denselben Materialien wie H^1 und in derselben Weise wurde ein zweimal nach entgegengesetzter Richtung im rechten Winkel gebogener Arm hergestellt. Die Länge des unteren vertikalen Endes betrug 26 cm, die des horizontalen Stückes — der gleichzeitige Abstand des Kondensators von der Emissionsstelle — 40 cm und die des oberen vertikalen Endes 38 cm. In dem Arm lief ebenfalls koaxial durch Bernstein isoliert ein dünner Kupferdraht als Elektrometerleitung. Die Einrichtung zum Aufsetzen des Kondensators war die gleiche wie vorher. Das untere vertikale Ende des Armes wurde nun gleichzeitig als Drehachse benutzt und in einen starken eisernen Dreifuß Δ eingebaut, der auf eine dicke Holzplatte geschraubt

war, die ihrerseits mit Schraubenzwingen auf dem Tisch befestigt war. Die beiden Lager L^1 und L^2, von denen L^1 konisch war, bedingten eine sichere Führung des Halters bei der Drehung.

Elektrometer. Als Meßinstrument wurde ein Hankelsches Elektrometer *E* verwandt. Das Gehäuse war geerdet, die beiden Seitenplatten durch eine Akkumulatorenbatterie auf $\pm$ 100 Volt geladen. Die Glasscheiben des Instrumentes waren soweit wie möglich mit geerdetem Stanniol bedeckt. Die Be-

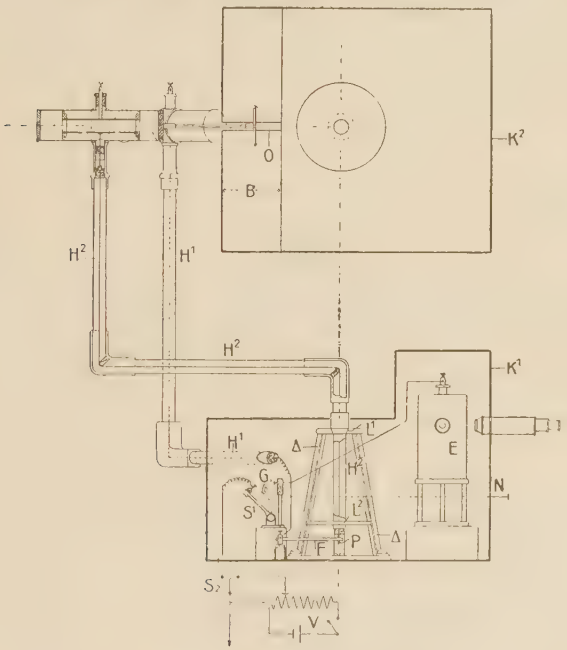


Fig. 5.

leuchtung erfolgte durch eine seitlich stehende Lampe mittels Spiegel.

Die Verbindung der unteren Kondensatorplatten miteinander und mit dem Elektrometer wurde, da Kapazitätsänderungen bei der Drehung des beweglichen Kondensators vermieden werden mußten, folgendermaßen ausgeführt.

Das untere Ende des Kupferdrahtes im Halter H^2 lief durch den Bernsteinstopfen in einen kurzen, 1 mm starken,

ebenfalls koaxialen Platinastift P aus. Auf diesem schleifte eine leichte Feder aus Platinablech F (Fig. 5), die in einer auf einem Bernsteinsäulchen isoliert aufgestellten Klemme befestigt war. Von hier aus führte ein dünner Kupferdraht zu dem einen isolierten Pole des Schalters S^1, mit dem auch das untere Ende der Leitung im Halter H^1 durch einen dünnen Draht verbunden war. Die Verbindung mit dem Elektrometerblättchen vermittelte ein Draht, der von demselben Pole des Schalters S^1 ausging.

Der *Schalter* S^1, der zur Erdung des Elektrometersystems diente, bestand, um möglichst wenig die Kapazität des Systems

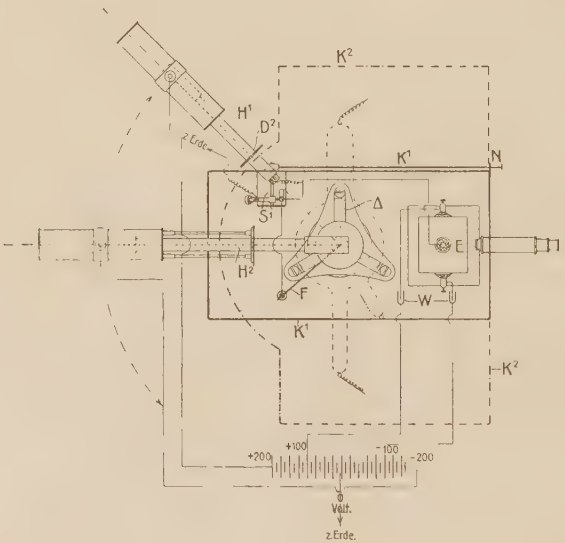


Fig. 6.

zu vergrößern, aus einem auf einem Messingsäulchen isoliert angebrachten Platinaplättchen, gegen das ein an einem drehbaren Messingarm, aus Gründen, die später angegeben werden, ebenfalls isoliert befestigter Platinastift anschlug, der mit der Erde verbunden war. Der Schalter konnte mittels der leichten Aluminiumstange N vom Sitz des Beobachters aus bedient werden. Ein kleines Gewicht G drückte beim Erden die Kontakte aneinander. Als Isolation war wieder überall Bernstein verwandt.

Akkumulatorenbatterie. Neben dem Apparatetisch befand sich ein Schrank, der 300 Hochspannungsakkumulatoren enthielt. Die Mitte der Batterie war geerdet. Die beiden Pole waren mit den oberen Kondensatorplatten verbunden. In die Leitungen waren gleiche Lampenwiderstände eingeschaltet. Zwei andere Leitungen führten von + 100 und — 100 Volt über zwei gleiche Wasserwiderstände *W* (Fig. 6) zu den Seitenplatten des Elektrometers. Alle Widerstände waren in geerdete Blechkästen eingesetzt, die Zuleitungen, soweit sie außerhalb der Kästen geführt werden mußten, in geerdete Bergmannröhren eingeschlossen oder waren mit geerdetem Stanniol umwickelt. Die Spannung der Batterie wurde öfters kontrolliert.

Bleikästen. Das Elektrometer, der Dreifuß Δ, der Schalter S^1 nebst den dazu gehörigen Verbindungen, sowie die X-Strahlröhre befanden sich in zwei Bleiblechkästen K^1 und K^2 (Figg. 5 und 6), deren Gestalt und Dimensionen aus diesen Figuren zu entnehmen sind. Die Dicke des benutzten Bleibleches betrug 3 mm.

K^1 besaß auf dem Deckel eine runde Öffnung, durch die der Halter H^2 des drehbaren Kondensators herausragte. Halter H^1 führte seitlich in das innere. Für das Ablesefernrohr des Elektrometers war in der Vorderwand eine passende Öffnung angebracht. Links vom Elektrometer war eine Mattglasscheibe eingesetzt, durch die das Licht zur Beleuchtung einfiel; rechts eine Klapptür zur Einstellung.

Der Kasten K^2, in dem die X-Strahlröhre aufgestellt war, stand auf einem starken Holztisch gerade über dem Elektrometerkasten K^1. Er war auf der den Kondensatoren zugekehrten Seite in der Form eines Zylindermantelstückes (Radius 20 cm) ausgebaucht. 20 cm über dem Boden befand sich in der Ausbauchung *B* ein 10 mm weiter horizontaler Spalt *O*, durch den die X-Strahlen in die Kondensatoren einfielen. Seitlich führten durch zwei starke mit Paraffin ausgegossene Glasröhren die Hochspannungsleitungen in das Innere zu den Elektroden der X-Strahlröhre. Oben war der Bleikasten offen.

Alle Teile der Bleikästen, sowie die übrigen metallischen Schutzhüllen, waren untereinander durch angelötete Kupferdrähte verbunden und zur Erde durch die Wasserleitung abgeleitet.

X-Strahlröhre. Die zu diesen Versuchen gebrauchte Röhre war dieselbe mit der kompensierten Röhrenwand, wie sie bei dem vorhergehenden Teil der Arbeit verwandt war. Sie wurde in ein Stativ aus Holz in dem Bleikasten mit horizontaler Achse so aufgestellt, daß die kompensierte Seite gegen den horizontalen Spalt in der Ausbauchung *B* im Kasten zeigte. Schlittenverschiebung und Stellschrauben am Stativ ermöglichten es leicht, die Röhre in die richtige Lage einzustellen, d. h. daß der Ausgangspunkt der X-Strahlen genau senkrecht über der Drehachse des beweglichen Kondensatorhalters lag, und außerdem sich in der durch die Achse des Kondensators selbst bei der Drehung bestimmten Ebene befand; die kompensierten Röhrenwandpunkte mußten ebenfalls in dieser Ebene liegen. Drehachse und diese Ebene waren senkrecht zueinander.

Stromquellen. Als Stromquelle wurde wiederum wie früher meist die 40plattige Töplersche Influenzmaschine benutzt; nur zum schnellen Einstellen, Härten der Röhre usw. der große Klingelfussinduktor.

Bei der starken zu diesen Versuchen nötigen Inanspruchnahme der Influenzmaschine wurde deren Leistung nach kurzer Zeit so schlecht, daß sie nicht mehr zum Betrieb der Röhre ausreichte. Es bildete sich wohl durch den im Schutzkasten der Maschine aus der Luft entstehendem Ozon und der bei der Verbrennung des Stickstoffs resultierenden salpetrigen Säure auf den isolierenden Teilen eine leitende Schicht, die den größten Teil der entstehenden Elektrizität zur Erde ableitete und bei Ingangsetzen der Maschine das Ansprechen erschwerte. Die Maschine mußte daher vollständig auseinander genommen und gereinigt werden, was bei den vielen Glasteilen ebenso gefährlich wie zeitraubend war. Um ein weiteres Verschmutzen zu vermeiden, wurde die Maschine mit Gummi nach außen möglichst abgedichtet und mit käuflichem Stickstoff, der durch Pyrogallussäure von seinem Rest an Sauerstoff befreit und über Chlorcalcium getrocknet war, gefüllt. Beim Betrieb der Maschine ging stetig ein kleiner Stickstoffstrom hindurch, um den Inhalt der Maschine möglichst rein zu erhalten. Diese Maßnahme bewährte sich außerordentlich gut. Obgleich die Maschine täglich mehrere Stunden im

Betrieb war, zeigte sie während der ganzen weiteren Versuche, die angestellt wurden, keine Abnahme ihrer Leistungsfähigkeit. Selbst die vernickelten Metallteile im Inneren, die bei Luftfüllung sofort anlaufen, blieben glänzend.

Hochspannungsleitungen Die Leitungen, die von der Influenzmaschine zur X-Strahlenröhre führten, waren in dünne isoliert aufgehängte Glasröhren eingeschlossen oder mit dickem Gummischlauch überzogen, um das Ausstrahlen der Elektrizität, das für ein gleichmäßiges Wirken der Röhre äußerst hinderlich war, nach Möglichkeit zu vermeiden. Zum beliebigen Ein- und Ausschalten der Röhre, konnte die Maschine vom Sitz des Beobachters aus kurz geschlossen werden.

2. Einstellung der Apparate.

Die Einstellung der Emissionsstelle der X-Strahlen in die Drehachse des beweglichen Kondensatorhalters, sowie in die durch die Kondensatorachse bei der Drehung bestimmte Ebene (Drehebene) erfolgte bei diesen Versuchen nur mittels X-Strahlen. Vorversuche hätten nämlich gezeigt, daß die matte Stelle auf der Antikathode nicht mehr der Ausgangspunkt der X-Strahlen war, wenn die Röhre sich in dem Bleikasten befand. Die Emissionsstelle war ein wenig verschoben. Es ist dies wohl dem Einflusse der großen Metallmassen zuzuschreiben. Zum Zwecke der Einstellung war daher der Karton, der die Öffnung im hinteren Aluminiumdeckel der Kondensatoren verschloß, mit Bariumplatincyanür überzogen und außerdem zur Fixierung der Kondensatorachse, wo diese hindurchging, mit einem 1 mm großen Loch versehen (*O* Fig. 4). Wird jetzt der Drehkondensator auf die Antikathode der in K^2 eingesetzten Röhre gerichtet, so kann die Projektion der Öffnung *D* (Fig. 4) im vorderen Kondensatordeckel auf dem Leuchtschirm als heller Kreis beobachtet werden, dessen Mittelpunkt mit *O* zusammenfallen muß, wenn die Emissionsstelle in der verlängerten Kondensatorachse liegt. Behält die Projektion bei der Drehung des Kondensators diese Lage auf dem Schirm bei, so liegt jetzt die Emissionsstelle sowohl in der Drehebene wie in der verlängerten Drehachse. Nachdem durch Verstellen des Röhrenstatives diese Lage erreicht war, wurde die Röhre um ihre Achse solange gedreht, bis auch die Mittelpunkte der Kompen-

sationsplättchen in die Drehebene fielen, was, da ja die Mittelpunkte durch schwarze Tupfen bezeichnet waren, bei geeigneter Beleuchtung leicht durch Visieren durch O, D und D' (Fig. 4) ersehen werden konnte. War die Einstellung soweit fertig, so wurde schließlich der feste Kondensator durch Beobachten des Fluoreszenzschirmchens und Visieren in dem gewünschten Azimut der Röhre und in der Einfallsebene der Röhre resp. Drehebene des beweglichen Kondensators eingestellt. Der Abstand von der Emissionsstelle war wie der des drehbaren Kondensators 40 cm. Aus Zweckmäßigkeitsgründen, die weiter unten erörtert werden, stand der feste Kondensator vorläufig immer im Azimut 148°.

Diese Art der Einstellung mittels Fluoreszenzschirmen hatte den großen Vorteil, während des Versuches stets kontrolliert werden zu können.

3. Fehlerquellen.

Elektrostatische Störungen. Das ganze Elektrometersystem war durch geerdete Metallhüllen überall eingeschlossen. Der Schutz erwies sich als genügend, denn das Elektrometerblättchen blieb in Ruhe, wenn der Induktor allein ohne X-Strahlenröhre mit großer Funkenstrecke betrieben wurde oder selbst Entladungen durch die Bleikästen hindurch gelassen wurden.

Störungen durch elektrische Schwingungen. Obgleich alles elektrostatisch auf das beste geschützt war, traten oft bei den Versuchen im Augenblicke der Aufhebung der Erdung so große Ausschläge am Elektrometer auf, daß das Blättchen an die Seitenplatten geschleudert wurde und dort haften blieb. Im ersten Augenblicke hatte dieser sehr lästige Umstand den Anschein einer elektrostatischen Störung. Versuche ergaben jedoch, daß die Ursache in elektrischen Schwingungen lag, die auftraten, wenn aus irgend einem Grunde die Hochspannungsleitung zur Röhre auf eine kurze Strecke unterbrochen war, so daß oszillierende Entladungen entstehen konnten. Einmal erkannt, wurde diese Störung leicht durch sorgfältiges Intakthalten der Leitung beseitigt.

Die *Isolation* des Elektrometersystems war dank der ausschließlichen Verwendung von Bernstein außerordentlich gut, so daß von dieser Seite keine Fehlerquelle zu befürchten war.

Im Bleikasten K^1 befand sich zur Trockenhaltung noch ein Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure.

Störungen durch die X-Strahlen selbst. Um zu erfahren, ob die X-Strahlen die Bleikästen in nennenswerter Weise durchdringen und unbeabsichtigte Aufladung des Elektrometers durch Ionisation hervorrufen könnten, wurden beide Kondensatoren durch Bleibleche abgeblendet. Es zeigte sich, daß das Blättchen in Ruhe blieb. Sekundärstrahlen in den Kondensatoren, die, wie schon erwähnt ist, das Resultat nur verschlechtern konnten, waren durch die Konstruktion des Kondensators selbst nach Möglichkeit vermieden.

Die Strahlen, die von der Glaswand der Röhre ausgingen, wurden durch das Diaphragma D^1 soweit wie möglich abgefangen. Beim festen Kondensator war das Diaphragma am Bleikasten K^2 angebracht (D^2 Figg. 5 und 6). Vor jedem Versuche wurde D^2 auf die Achse des festen Kondensators zentriert.

Kontrollversuche mit verschieden großen Öffnungen D im vorderen Kondensatordeckel ergaben, daß bei der benutzten Öffnung von 3 mm Durchmesser nur die Strahlen, die durch ein Kompensationsplättchen gingen, in den Kondensator gelangen konnten, wenn dieser auf den Mittelpunkt des Plättchens gerichtet war.

Wanderung des Ausgangspunktes der X-Strahlen auf der Antikathode. Bekanntlich entstehen die X-Strahlen, wenn die Röhre hart ist, auf einer anderen Stelle, als bei weicher Röhre. Während der Dauer eines Versuches war ein solches Wandern jedoch nicht anzunehmen. Auch konnte auf den Fluoreszenzschirmen niemals eine Verschiebung der Projektion von D im Laufe eines Versuches bemerkt werden.

Änderung des Allgemeinzustandes der Röhre während der Dauer eines Versuches. Hierin lag die störendste und wohl bedenklichste Fehlerquelle der Versuche, weil ja die Vergleichung der einzelnen Strahlungsrichtungen eine zeitliche Folge verlangte. Eine gute Konstanz der Röhre während einer genügend langen Zeitdauer konnte indessen erreicht werden, wenn die Röhre vor der eigentlichen Versuchsreihe 20 bis 30 Minuten ununterbrochen im Betrieb war. Es trat dann eine Art stationärer Zustand ein; die Röhre änderte ihren Allgemeinzustand nur sehr langsam, wie man auch aus den

weiter unten mitgeteilten Messungen ersehen kann. Leider trat dieser stationäre Zustand eigenartigerweise immer bei einer bestimmten Härte der Röhre (mittelweich) ein. Selbst wenn durch Regenerieren so viel Gas eingelassen war, daß die Röhre sehr weiche Strahlen emittierte, stieg die Durchdringungsfähigkeit ziemlich schnell fortwährend, bis obiger Wert erreicht war. Es konnten daher nur in diesem Härtebereich gute Messungen erhalten werden.

Um eine zu große Erwärmung der Röhre bei dem langen Betrieb zu vermeiden, wurde mittels eines Ventilators ein Luftstrom auf dieselbe geblasen. Die Luft im Arbeitsraum wurde durch Brennen eines großen Gasofens stets möglichst trocken gehalten, weil die Isolation der Hochspannungsleitungen stark auf Feuchtigkeit reagierte.

Die Fehler, die durch *Ungenauigkeit der Kompensation* der Röhrenwand verursacht werden konnten, sind im II. Teil bereits diskutiert worden.

Als Fehlergrenze wird bei den Versuchen $\pm$ 3 Proz. angenommen werden können.

4. Meßmethode.

Es war zweckmäßig die Intensitätsverteilung in Prozenten der Strahlung, die senkrecht zur Achse des Kathodenstrahlbündels ausgeht, anzugeben. Die kompensierte Stelle 8, Azimut 93°, entsprach bei unserer Röhre am besten dieser Strahlungsrichtung. Um aber alle in Frage kommenden Strahlungsrichtungen möglichst in einer Versuchsreihe schnell nacheinander messen zu können, wurde der feste Kondensator, wie schon erwähnt ist, nicht bei Azimut 93°, sondern bei 148°, dem Azimut der an dem der Kathode zuliegenden Ende des kompensierten Röhrenwandstreifens befindlichen kompensierten Stelle Nr. 1 aufgestellt. Bei dieser Anordnung konnte nun der bewegliche Kondensator schnell nacheinander auf alle Strahlungsrichtungen eingestellt werden. Die Intensitätsverteilung kann auch bei dieser Stellung des festen Kondensators in Prozenten der Strahlung Azimut 93° angegeben werden, wenn dafür gesorgt ist, daß die Ionisation im festen Kondensator gleich der im beweglichen Kondensator in Stellung Azimut 93° ist; dies kann indessen durch Variieren des Abstandes des

festen Kondensators vom Ausgangspunkt der X-Strahlen leicht erreicht werden. Geringe Abweichungen von dieser Gleichheit können durch einen Faktor n, der sich aus dem Verhältnis der Ionisation im festen Kondensator zu der im beweglichen bei Azimut 93° zusammensetzt, mit genügender Annäherung korrigiert werden.

Die Meßmethode bei einer Versuchsreihe war nun folgende.

Der bewegliche Kondensator wurde auf den Mittelpunkt des Kompensationsplättchen gerichtet, das dem Plättchen, durch das die Strahlen in den festen Kondensator fielen, benachbart war, und der bewegliche Kondensator selbst durch Einschalten einer 5 mm starken Bleischeibe in den Strahlengang abgeblendet. Es wurde nun der Ausschlag von a Skalenteilen gemessen, den die X-Strahlen in der Zeit t am Elektrometer bewirkten. Darauf wurde die Bleischeibe beseitigt und wiederum t Sekunden exponiert. Beide Kondensatoren wurden jetzt von Strahlen getroffen. Am Elektrometer wurde der Ausschlag $\pm b$ beobachtet. Ein positives b bedeutet, der Ausschlag erfolgte in derselben Richtung wie bei Abblendung des beweglichen Kondensators; die Ionisation im festen Kondensator ist größer als im beweglichen. Ein negatives b bedeutet das Gegenteil. Hierauf wurde die Bleischeibe wieder vor den beweglichen Kondensator gesetzt und noch einmal der während derselben Zeit t bewirkte Ausschlag a' gemessen. — Bei allen Messungen waren natürlich beide Kondensatorplatten P^2 gleichzeitig mit dem Elektrometer verbunden. — In derselben Weise wurde nun bei den übrigen kompensierten Stellen resp. den dazu gehörigen Azimuten der Reihe nach a, b und a' gemessen.

Im Laufe der Versuchsreihe ergibt sich das oben erwähnte Verhältnis der Ionisation im festen Kondensator zu der im beweglichen bei Azimut 93° gleich:

$$n = \frac{J_{148^0}}{J_{93^0}} = \frac{\frac{1}{2}(a + a')_{148^0}}{\frac{1}{2}(a + a')_{148^0} - b_{93^0}}.$$

Nach Feststellung von n ist der Intensitätsunterschied Δ der einzelnen Strahlungsrichtungen von der Strahlung Azimut 93° in Prozent dieser Strahlung einfach gegeben durch

$$\Delta = \frac{\frac{1}{2}(a + a') - \left[\frac{1}{2}(a + a') - b\right] \cdot n}{\frac{1}{2}(a + a')} \cdot 100.$$

Durch diese Methode der Messung erhält man möglichst einwandfreie Resultate und hat außerdem ein gutes Kriterium für event. Änderungen des Allgemeinzustandes der Röhre während der Versuchsreihe.

5. Versuche.

Der eigentliche Versuch verlief folgendermaßen: Nachdem alle Kontrollen der richtigen Einstellung der X-Strahlenröhre und der Kondensatoren mit Hilfe der Fluoreszenzschirmchen wie oben beschrieben geprüft waren, wurde die Influenzmaschine in Tätigkeit gesetzt und die Röhre bis zur Emission von weichen Strahlen regeneriert. Während die Röhre langsam ihren stationären Zustand annahm, wurde die Empfindlichkeit des Elektrometers kontrolliert, was durch Ausschalten der Erdverbindung des Schalters S^1 (Fig. 5) mit dem Umschalter S^2 und Einschalten des Spannungsteilers V, dessen Schaltungsskizze in Fig. 5 ebenfalls eingezeichnet ist, leicht ausgeführt werden konnte. Der Pol des Schalters S^1, der sonst mit der Erde in Verbindung stand, mußte zu diesem Zwecke, wie bereits erwähnt ist, isoliert sein. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug im allgemeinen 60 Skalenteile für 1 Volt. Potentialdifferenz und Ausschlag des Goldblättchens waren bis 30 Skalenteile Ausschlag genügend proportional. Entgegengesetzt gleiche Potentialdifferenzen bewirkten gleich viele Skalenteile Ausschlag nach entgegengesetzter Seite.

Hierauf wurde in regelmäßigen Intervallen die Ionisation im festen Kondensator bei abgeblendetem drehbaren gemessen. Zeigten die Ausschläge am Elektrometer, daß die Röhre konstant war, so wurde sofort mit der Versuchsreihe begonnen. Um alle in Frage kommenden Strahlungsrichtungen tunlichst schnell durchmessen zu können, wurden die Versuche von zwei Beobachtern ausgeführt.[1]) Der eine exponierte nach den Schlägen eines Sekundenklopfers und las das Elektrometer ab. — Die Exposition, die durch Aufheben der Erdleitung des Elektrometersystems durch den Schalter S^1 erfolgte, dauerte meistens 10 Sekunden. War die Intensität der Röhre groß,

1) Es sei mir gestattet auch an dieser Stelle Hrn. Dr. G. Freiherrn du Prel für seine liebenswürdige Unterstützung, die er mir durch das exakte Ablesen des Elektrometers zuteil werden ließ, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

was von der Leistung der Influenzmaschine abhing, so wurde, um Zeit zu sparen, bei der Messung von a und a' nur 5 Sekunden bestrahlt. Natürlich wurde dieses bei der Berechnung der Resultate entsprechend berücksichtigt. —

Der andere stellte den beweglichen Kondensator der Reihe nach auf die Mitte der Kompensationsplättchen ein, blendete nach Bedarf den beweglichen Kondensator ab und führte das Journal. Waren alle Richtungen durchmessen, so wurden rückwärts gehend einige Messungen zur Kontrolle wiederholt. Am Schluß jeder Versuchsreihe wurde die Länge einer zur Röhre parallel geschalteten Funkenstrecke zwischen blanken Zinkkugeln von 25 mm Durchmesser gemessen, bei der die Entladung der Maschine sich einteilte in die Entladung durch die Funkenstrecke und in die Entladung durch die Röhre.

Nachdem erst alles wie oben beschrieben eingerichtet war, gingen die Versuche ohne auch nur einmal zu versagen.

In den nächsten Tabellen und graphischen Darstellungen haben wir zunächst zwei Einzelversuchsreihen. Von denen ist die erste in Tabb. 5 und 6 eingetragen. Graph. Darst. 5 gibt uns ein Bild davon. Das Durchdringungsvermögen der X-Strahlen war „mittelweich"; die parallele Funkenstrecke betrug 18 mm, was einer Potentialdifferenz von 45000 Volt entspricht. Tab. 5 zeigt den Auszug aus dem Beobachtungsjournal, während in Tab. 6 die einzelnen Teile der obigen Formel für Δ, soweit ihre Kenntnisnahme wünschenswert erschien, verzeichnet sind.

Die Werte der eigentlichen Versuchsreichen sind in den graphischen Darstellungen mit ⊙ eingezeichnet, während die Kontrollmessungen mit × bezeichnet sind.

Tabelle 5.

$t_{a,a'} = 5''$; $t_b = 10''$.

Nr.	Azimut	a	b	a'
3	133°	+ 7,5	+ 2,8	+ 7,3
4	125	+ 7,0	+ 1,9	+ 7,2
5	117	+ 7,3	+ 1,8	+ 7,2
6	109	+ 7,0	+ 1,6	+ 7,0
7	103	+ 7,0	+ 1,3	+ 7,5

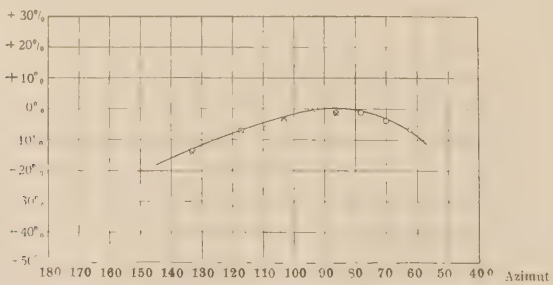
Tabelle 5 (Fortsetzung).

Nr.	Azimut	a	b	a'
8	93°	+7,2	+0,8	+7,0
9	86	+7,5	+1,0	+7,4
10	78	+7,5	+1,0	+7,5
11	70	+7,5	+1,4	+7,5
12	62	+7,5	+1,8	+7,5
9	86	+7,4	+1,0	+7,0
7	103	+7,7	+1,3	+7,7
5	117	+7,5	+2,0	+7,2
3	133	+7,3	+2,7	+7,0

Tabelle 6.

$n = 1{,}06$.

Nr.	Azimut	$\frac{1}{2}(a+a')$	$\frac{1}{2}(a+a')-b$	$[\frac{1}{2}(a+a')-b]\cdot n$	Δ
3	133°	14,8	12,0	12,7	−14,2 %
4	125	14,2	12,3	13,0	− 8,5
5	117	14,5	12,7	13,5	− 7,4
6	109	14,0	12,4	13,1	− 6,4
7	103	14,5	13,2	14,0	− 3,5
8	93	14,2	13,4	14,2	0,0
9	86	14,9	13,9	14,7	− 1,3
10	78	15,0	14,0	14,8	− 1,3
11	70	15,0	13,6	14,4	− 4,0
12	62	15,0	13,2	14,0	− 6,7
9	86	14,4	13,4	14,2	− 1,4
7	103	15,4	14,1	14,9	− 3,2
5	117	14,7	12,7	13,5	− 8,2
3	133	14,3	11,6	12,3	−14,0



Graphische Darstellung 5.

Wie man aus Tabellen und Kurve sehen kann, haben wir auch hier eine Abhängigkeit der Intensität vom Azimut. Das Maximum der Intensität liegt bei ca 85° Azimut.

Die folgenden beiden Tabb. 7 und 8, sowie graph. Darst. 6 enthalten eine Versuchsreihe mit ein wenig härteren Strahlen. Die parallele Funkenstrecke betrug 23 mm entsprechend einer Potentialdifferenz von 50000 Volt. Die Intensität erreicht hier ebenfalls bei ca. 85° Azimut ihr Maximum. Eine Verschiebung des Maximums gegen das der vorhergehenden Versuchsreihe läßt sich bei dem geringen Härteunterschied und den an und für sich flachen Kurven nicht sicher feststellen.

Tabelle 7.

$t_{a,a'} = 5''$; $t_b = 10''$.

Nr.	Azimut	a	b	a'
3	133°	+6,5	+2,6	+6,6
4	125	+6,8	+2,5	+6,8
5	117	+6,5	+2,0	+6,5
6	109	+6,7	+1,8	+6,8
7	103	+7,3	+1,8	+7,0
8	93	+7,1	+1,2	+7,0
9	86	+7,6	+1,5	+7,5
10	78	+7,0	+1,2	+6,7
11	70	+7,0	+1,3	+7,0
12	62	+7,0	+2,3	+7,0
10	78	+7,0	+1,5	+7,0
8	93	+6,8	+1,2	+6,8
6	109	+6,7	+2,1	+6,5
4	125	+6,6	+2,0	+6,5

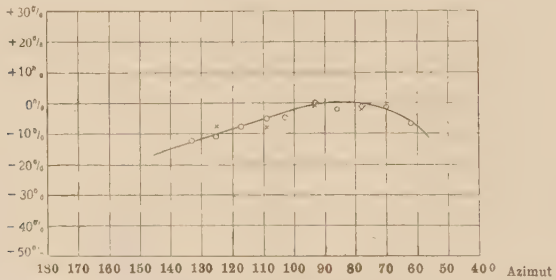
Tabelle 8.

$n = 1{,}09$.

Nr.	Azimut	$\frac{1}{2}(a+a')$	$\frac{1}{2}(a+a') - b$	$[\frac{1}{2}(a+a')-b]\cdot n$	Δ
3	133°	13,1	10,5	11,5	−12,2 %
4	125	13,6	11,1	12,1	−11,0
5	117	13,0	11,0	12,0	− 7,7
6	109	13,5	11,7	12,8	− 5,2
7	103	14,3	12,5	13,6	− 4,9

Tabelle 8 (Fortsetzung).

Nr.	Azimut	$\frac{1}{2}(a+a')$	$\frac{1}{2}(a+a')-b$	$[\frac{1}{2}(a+a')-b]\cdot n$	Δ
8	93°	14,1	12,9	14,1	−0,0 %
9	86	15,1	13,6	14,8	−2,0
10	78	13,7	12,5	13,6	−1,0
11	70	14,0	12,7	13,9	−1,0
12	62	14,0	11,7	12,8	−8,6
10	78	14,0	12,5	13,6	−2,9
8	93	13,6	12,4	13,5	−1,0
6	109	13,2	11,1	12,1	−8,3
4	125	13,1	11,1	12,1	−7,7



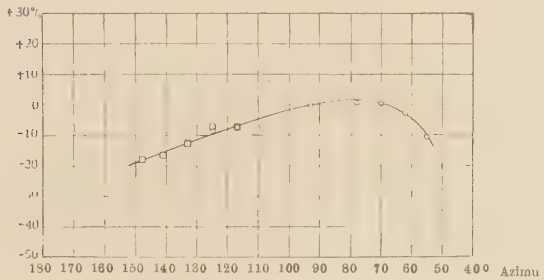
Graphische Darstellung 6.

Tab. 9 stellt nun die in graphischer Darstellung 7 bildlich ersichtlichen Mittelwerte aus zehn der besten Versuchsreihen zusammen, die bei der bisherigen Stellung des festen Kondensators im Azimut 148° ausgeführt waren. Die in Spalte 4 unter Δ' und in graphischer Darstellung mit ⊡ eingezeichneten Werte sind bei einer anderen Stellung des festen Kondensators erhalten, und ihre Bedeutung wird im folgenden erörtert werden.

Bei der bisherigen Anordnung konnten die Strahlungen der Azimute 148° und 141° wegen der Stellung des festen Kondensators nicht mehr mit ausgemessen werden. Da es aber wünschenswert erschien, auch in diesen Strahlungsrichtungen Belege für den weiteren Verlauf der Intensitätsverteilung zu besitzen, so wurde der feste Kondensator in Azimut 86° vor Kompensationsplättchen Nr. 9 aufgestellt. Es

Tabelle 9.

No.	Azimut	Δ	Δ'
1	148°	—	−17,9 %
2	141	—	−16,5
3	133	−11,3 %	−12,9
4	125	− 8,8	− 7,4
5	117	− 7,7	− 7,7
6	109	− 7,2	—
7	103	− 4,6	—
8	93	0,0	—
9	86	− 0,7	—
10	78	+ 0,5	—
11	70	+ 0,3	—
12	62	− 2,8	—
13	55	−10,5	—



Graphische Darstellung 7.

wurden die fünf ersten Richtungen gemessen; die Meßmethode blieb genau die gleiche wie vorher. Tab. 10 enthält eine der Versuchsreihen, die mit dieser Anordnung gemacht sind. In Spalte 6 sind die gefundenen Intensitätsunterschiede einfach in Prozenten der Ionisation im festen Kondensator angegeben. Es zeigt sich, daß die Intensität, wie es nach den früheren Versuchen zu erwarten war, in Azimut 148° und 141° noch weiter beträchtlich abnimmt.

Wir können aber auch bei dieser Stellung des festen Kondensators die Intensitätsunterschiede leicht in Prozenten der Strahlung Azimut 93° ausdrücken. Denn bei einigen der

Tabelle 10.

$t_{a,a'} = 5''$, $t_b = 10''$.

Nr.	Azimut	a	b	a'	Δ
5	117°	+10,3	+3,5	+10,5	−16,8 %
4	125	+10,3	+3,5	+10,5	−17,0
3	133	+10,3	+4,5	+10,3	−21,8
2	141	+10,5	+5,0	+10,3	−23,8
1	148	+10,5	+5,2	+10,5	−24,8
2	141	+10,3	+5,0	+10,5	−24,0
3	133	+10,5	+4,5	+10,5	−21,4
4	125	+10,5	+3,6	+10,5	−17,1
5	117	+10,5	+3,3	+10,5	−15,7

jetzt untersuchten Strahlungsrichtungen sind ihre Intensitätsunterschiede in Prozenten der Strahlung Azimut 93° und natürlich auch ihr Intensitätsverhältnis zu dieser Strahlung aus den früheren Versuchen bekannt. Unter Zugrundelegung des Mittelwertes des Intensitätsunterschiedes der Strahlung Azimut 117° in Prozenten der Strahlung 93° gleich — 7,7 Proz. (Tab. 9, Spalte 3) sind nun zehn Versuchsreihen der jetzigen Anordnung auf Prozente der Strahlung Azimut 93° umgerechnet, und ihre Mittelwerte stehen in Tab. 9 unter Δ' und sind in graphischer Darstellung 7 mit ⊡ eingezeichnet.

Die Werte schmiegen sich augenscheinlich gut dem Laufe der Kurve an.

Aus den bisherigen Versuchen nach der elektrischen Methode geht hervor, daß eine Abhängigkeit der Intensität der X-Strahlen einer Pt-Antikathode vom Azimut auch elektrisch nachgewiesen werden kann. Die Messung dieser Abhängigkeit ergibt einen Intensitätsunterschied der Strahlungen Azimut 150° und des Azimut 80° von 20 Proz.

Wie man bei Betrachtung der Kurven erkennt, erhält man nach der elektrischen Methode ganz ähnliche Kurven, wie nach der photographischen Methode. Bei näherer Vergleichung bemerkt man jedoch, daß die beiden Felder, die den Azimuten 148° und 141° entsprechen, bei den photographischen Kurven eine relativ zum übrigen Verlauf der Schwärzungskurven vielleicht zu große Schwärzung zeigen. Diese

Erscheinung ist indessen wohl eine Sekundärerscheinung und läßt sich folgendermaßen erklären.

Die beiden kompensierten Röhrenwandstellen, die zu diesen Feldern gehören, liegen bereits in großer Nähe der Kathode (vgl. Fig. 2). Die vom Rande derselben ausgehenden Kathodenstrahlen treffen die Glaswand dort, wo diese Stellen liegen. Die dabei entstehenden X-Strahlen addieren sich zu den von der Antikathode kommenden und bringen somit die zu große Schwärzung an diesen Feldern hervor.

Bei den nach der elektrischen Methode erhaltenen Kurven fehlen diese Abweichungen, wohl weil die Glaswand-X-Strahlen, wegen der beträchtlich größeren Entfernung der Meßvorrichtung bereits so gut wie unwirksam sind, ehe sie in die Kondensatoren gelangen können.

Eine Eigentümlichkeit der nach beiden Methoden erhaltenen Kurven — besonders aber der nach der elektrischen Methode erhaltenen — ist, daß einige Punkte[1]) fast bei allen Versuchen stets entweder zu hoch oder zu tief liegen. Dies wird offenbar dadurch hervorgerufen, daß die Kompensation der Röhrenwand an den entsprechenden Stellen nicht genügend gut ausgefallen ist, wohl wegen der Keilförmigkeit der Röhrenwand.[2]) Indessen bleiben die Abweichungen innerhalb der angegebenen Fehlergrenze.

Im folgenden sind nun Versuche beschrieben, die die im IV. Teil bereits angedeutete Abhängigkeit des Durchdringungsvermögens der X-Strahlen vom Azimut erwiesen. Die Frage nach dem Verhalten des Durchdringungsvermögens war deshalb so wichtig zu entscheiden, weil bei eventueller großer Härteänderung mit dem Azimut die Messung der Intensitätsverteilung durch Ionisation illusorisch wird, da harte Strahlen viel weniger ionisieren als weiche, und die Messungen der Ionisation in den Kondensatoren nicht mehr als Intensitätsmessungen miteinander verglichen werden können.

Zur Entscheidung der Frage wurde die Absorption, die die X-Strahlen der verschiedenen Strahlungsrichtungen in einem absorbierenden Medium erleiden, gemessen.

1) Besonders Nr. 4, 6 und 9.
2) Vgl. p. 14.

Der absorbierende Körper wurde an dem für diesen Zweck am vorderen Deckel des drehbaren Kondensators angebrachten aufklappbaren Halter (vgl. Beschreibung der Versuchsanordnung und Fig. 4) befestigt. Die Meßmethode war folgende.

Nachdem die X-Strahlenemission der Röhre konstant geworden war, wurde bei abgeblendetem festen Kondensator, der wieder im Azimut 148° aufgestellt war, die Absorption der X-Strahlen in ein und demselben Medium schnell nacheinander in drei Strahlungsrichtungen, entsprechend den Azimuten 133°, 103° und 70° gemessen. In den einzelnen Richtungen wurden zu diesem Zwecke je sechs Ablesungen am Elektrometer gemacht, abwechselnd je drei mit und ohne eingeschalteten absorbierenden Körper in den Strahlengang bei gleichen Expositionszeiten. Um von dem Einfluß einer eventuellen Härteänderung der Röhre im allgemeinen frei zu sein, wurde die Messung bei jeder Versuchsreihe in entgegengesetzter Reihenfolge wiederholt.

Der absorbierende Körper wurde möglichst weit vom Kondensator entfernt aufgestellt, um Sekundärstrahlen, die von dem Körper bei der Durchstrahlung ausgehen, soweit es ging, von dem Kondensator abzuhalten.

Folgende Tab. 11 zeigt einen derartigen Versuch, der mit einem Glasplättchen von 0,666 mm Dicke und derselben Art wie die Röhrenwand als absorbierendes Medium *K* ausgeführt ist. Unter *O* sind die Elektrometerausschläge ohne *K*, unter *M* die mit *K* eingetragen. Die Folge der Zahlen entspricht der

Tabelle 11.

K = Glas = 0,666 mm. $t = 5''$.

Azimut	*O*	*M*	*O*	*M*	*O*	*M*	*A*	A^m
133°	5,9	4,0	5,9	3,8	5,7	3,6	35,0 %	35,3 %
103	6,1	4,0	6,0	4,1	6,1	4,0	33,5	33,9
70	7,5	5,2	7,5	5,3	7,5	5,3	29,8	30,7
70	8,8	6,0	8,9	6,0	8,9	6,1	31,8	
103	8,8	5,6	8,0	5,3	8,0	5,5	33,7	
133	7,5	5,0	7,6	4,9	7,3	4,8	34,3	
133	7,0	4,3	7,0	4,5	7,0	4,5	36,5	
103	7,5	5,0	7,5	4,7	7,0	4,7	34,5	
70	6,7	4,5	7,0	4,9	7,5	5,3	30,6	

zeitlichen Folge der Ablesungen. In Spalte 8 haben wir unter A die erhaltene Absorption in Prozenten der ohne K gemessenen Ionisation aus dem Mittelwert der jeweiligen drei Ablesungen. In der letzten Spalte schließlich sind die Mittelwerte der Absorption in den drei untersuchten Richtungen aus der ganzen Beobachtungsreihe eingezeichnet. Die Härte der Röhre bei diesen Versuchen war mittelweich bei einer Spannungsdifferenz von 45000 Volt.

In Tab. 12 haben wir einen ganz analogen Versuch mit Platinblech als absorbierendem Medium. 47000 Volt Spannungsdifferenz.

Tabelle 12.

K = Pt = 0,0025 mm. $t = 10''$.

Azimut	O	M	O	M	O	M	A	A^m
133°	8,7	6,1	8,7	6,2	9,0	6,3	29,5 %	28,9 %
103	10,4	7,5	10,5	7,5	10,5	7,6	28,0	28,8
70	11,5	8,3	11,3	8,2	11,5	8,3	27,7	26,2
70	12,0	8,8	12,0	8,8	12,0	9,0	26,2	
103	12,0	8,5	12,0	8,6	12,6	9,0	28,7	
133	12,7	8,6	12,0	8,5	12,1	8,8	29,6	
133	12,5	9,0	12,5	9,1	13,0	9,4	27,6	
103	14,0	10,4	14,2	10,3	14,3	10,4	26,8	
70	14,0	10,7	14,4	10,9	15,0	11,0	24,8	

Wie man aus diesen beiden Versuchsreihen entnehmen kann, ist eine geringe, aber deutlich erkennbare Abhängigkeit der Härte der X-Strahlen vom Azimut vorhanden. Die Härte wächst mit abnehmenden Azimut.

Nach diesen Ergebnissen war es noch wünschenswert, zu untersuchen, ob das Durchdringungsvermögen bei kleineren Azimuten wie 70° noch weiter zunimmt. Die in den beiden nächsten Tabb. 13 und 14 eingezeichneten Versuchsreihen, die in den Strahlungsrichtungen 103°, 70° und 55° Azimut unter gleicher Anwendung von Glas und Platina als absorbierendem Medium ausgeführt sind, geben die Antwort auf diese Frage. Die gemessene parallele Funkenstrecke entsprach ungefähr derselben Betriebsspannung der Röhre, wie bei den beiden vorhergehenden Versuchsreihen, nämlich 45000—46000 Volt.

Tabelle 13.

K = Glas = 0,666 mm. t = 10″.

Azimut	O	M	O	M	O	M	A	A^m
103°	14,7	9,7	15,0	9,7	15,3	10,0	34,7 %	34,5 %
70	16,0	10,5	16,0	10,6	16,1	10,5	34,3	33,9
55	14,0	9,5	14,0	9,5	14,0	9,5	32,2	31,5
55	14,5	10,0	14,3	10,0	14,6	10,0	30,8	
70	16,5	11,0	16,5	11,1	17,0	11,2	33,4	
103	16,7	11,0	16,7	11,0	16,8	11,1	34,1	
103	17,0	11,2	17,1	11,1	17,0	11,1	34,6	
70	17,0	11,2	17,0	11,2	17,0	11,2	34,2	
55	14,2	9,7	14,3	9,8	14,3	9,8	31,6	

Tabelle 14.

K = Pt = 0,005 mm. t = 10″.

Azimut	O	M	O	M	O	M	A	A^m
103°	11,5	6,2	11,6	6,2	12,0	6,4	46,4 %	45,4 %
70	12,7	7,0	12,9	7,1	13,1	7,2	45,0	44,8
55	12,0	7,0	12,1	7,0	12,2	7,1	39,2	41,5
55	12,3	7,3	12,4	7,3	12,5	7,5	40,6	
70	16,0	9,0	16,0	9,2	16,2	9,2	43,2	
103	11,0	6,0	11,5	6,5	12,0	7,0	43,5	
103	10,3	5,6	10,3	5,6	10,8	5,7	46,3	
70	11,3	6,2	11,5	6,2	12,0	6,3	46,3	
55	11,0	6,0	11,0	6,1	11,2	6,2	44,8	

Die beiden Versuche zeigen, daß mit abnehmendem Azimut das Durchdringungsvermögen der X-Strahlen noch weiter zunimmt.

Wenn sich auch aus den Absorptionsversuchen ergibt, daß eine Abhängigkeit der Härte vom Azimut vorhanden ist, so ist indessen bei den geringen erhaltenen Härteunterschieden eine wesentliche Beeinflussung der Intensitätsverteilungsmessung nach der Ionisationsmethode durch dieses Phänomen nicht anzunehmen.

An Bedeutung kann letzteres jedoch gewinnen, wenn es darauf ankommt, von den Beobachtungen außerhalb der Röhre

auf die Verhältnisse innerhalb der Röhre zu schließen. Wie eine Überschlagsrechnung gezeigt hat, ist bei dem Vorhandensein einer Abhängigkeit des Durchdringungsvermögens vom Azimut in der gefundenen Größenordnung bereits der Umstand, daß die X-Strahlen vor ihrer Messung die 2 mm dicke Glasschicht durchsetzen müssen, nicht mehr zu vernachlässigen. Denn in den Richtungen, wo eine größere Härte gefunden wurde, wird von der ursprünglichen X-Strahlung weniger in der Glaswand absorbiert werden als in den Richtungen, wo ein geringeres Durchdringungsvermögen konstatiert wurde. Das Maximum der Intensität wird dabei nach der Seite der größeren Azimute verschoben werden.

Indessen kann den Beobachtungen, wie man auch bei der Betrachtung der Tabb. 11—14 ersehen kann, nicht der quantitative Wert beigelegt werden, eine Elimination des Einflusses der Röhrenwand auf rechnerischem Wege zu rechtfertigen. Außerdem muß bedacht werden, daß die X-Strahlen sehr inhomogener Natur sind, während mit einem Absorptionskoeffizienten gerechnet werden müßte, und weiter die gefundene Abhängigkeit der Härte vom Azimut wohl nur den Bremsanteil der Strahlung betrifft, der einmal nur einen kleinen Teil der Gesamtstrahlung ausmacht, und dann ein größeres Durchdringungsvermögen besitzt wie die Fluoreszenzstrahlung.

Mit einem Schlusse von Beobachtungen außerhalb der Röhre auf die Vorgänge im Inneren darf man, wie wohl aus den obigen Betrachtungen zur Genüge hervorgeht, nicht allzuweit gehen.

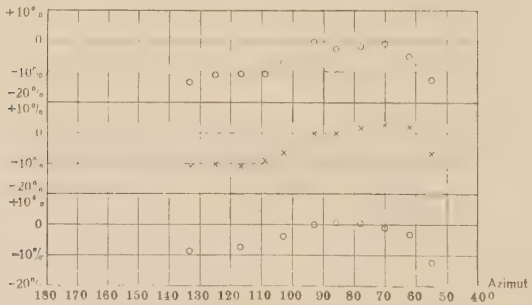
Die bei dem Vorhandensein einer Abhängigkeit der Härte vom Azimut durch das Passieren einer absorbierenden Schicht zu erwartende Verschiebung des Maximums der Intensität nach den größeren Azimuten zeigt direkt folgender in Tab. 15 und graphischer Darstellung 8 eingezeichneter Kontrollversuch.

In der dritten Spalte und oberen Kurve stehen die erhaltenen Werte für die Messung der Intensitätsverteilung ohne absorbierendes Medium (Δ). Die vierte Spalte und mittlere Kurve zeigt die Intensitätsverteilung nach Einschalten eines Platinableches von 0,005 mm Dicke in den Strahlengang vor beide Kondensatoren. Die letzte Spalte enthält die Resultate der zur Kontrolle ausgeführten nochmaligen Messung ohne

Platina. Alle Werte sind wie früher in Prozenten der Strahlung Azimut 93° ausgedrückt. Die Betriebsspannung der Röhre bei diesem Versuch betrug 48000 Volt.

Tabelle 15.

Nr.	Azimut	Δ	Δ_{Pt}	Δ'
3	133°	−13,2 %	−10,8 %	− 8,9 %
4	125	−11,0	− 9,9	—
5	117	−10,6	−11,2	− 7,3
6	109	−10,3	− 9,4	—
7	103	− 5,0	− 6,3	− 3,9
8	93	0,0	0,0	0,0
9	86	− 2,2	0,0	+ 0,5
10	78	− 1,5	+ 1,6	+ 0,3
11	70	− 0,5	+ 3,3	− 1,0
12	62	− 5,0	+ 1,8	− 3,1
13	55	−12,6	+ 6,5	−12,5



Graphische Darstellung 8.

Die Verschiebung des Maximums der mittleren Kurve gegen die der beiden anderen nach der Seite der kleineren Azimute ist wohl ersichtlich.

VI. Versuche über die Intensitätsverteilung um Azimut 180°.

Auf photographischem wie auf elektrischem Wege war das Vorhandensein einer Abhängigkeit der Intensität der X-Strahlen vom Azimut mit einem Maximum in der Nähe

senkrecht zur Richtung der Kathodenstrahlen erwiesen und hierdurch eine weitere Bestätigung der elektromagnetischen Impulstheorie der X-Strahlen gewonnen. Diese Theorie verlangt nun weiter, daß in der Richtung der Kathodenstrahlen die Intensitätsverteilung der X-Strahlen ein Minimum zeigen muß. Folgende nach der photographischen Methode ausgeführten Versuche sollen nun als Beweis dienen, daß dieses Minimum in der Tat vorhanden ist bei Azimut 0°.

Die gewöhnlichen X-Strahlenröhren gestatten es nicht, die Intensitätsverteilung der Strahlungen dieser Richtungen zu untersuchen, weil diese wegen der Stellung der Antikathode in dieser absorbiert werden. Daher wurde eine Röhre konstruiert[1]), in der die Kathodenstrahlen auf ein dünnes Platinafensterchen, das sich der Kathode gerade gegenüber in der Glaswand der Röhre befand, fielen und dort X-Strahlen erzeugten, die ihrerseits nun direkt nach außen gelangen konnten. Die Anordnung hatte gleichzeitig den Vorteil, daß die X-Strahlen vor ihrer Messung nicht erst das Glas der Röhrenwand sondern nur ein dünnes Aluminiumblech durchsetzen mußten.

Die Einzelheiten der Röhrenkonstruktion sowie das Schema der Versuchsanordnung sind aus Fig. 7, die im Maßstab 1 : 5 gezeichnet ist, zu entnehmen.

In einem großen Glaskolben waren die Kathode K und seitlich davon die Anode A eingeschmolzen. — Die Kathode war nicht als Hohlspiegel ausgebildet, weil es sich als schwierig erwies zu erreichen, daß der Brennpunkt der Kathodenstrahlen gerade auf das Fensterchen fiel. — Gerade gegenüber der Kathode war mit Einschmelzglas ein starkwandiges Platinarohr P von 20 mm Durchmesser und 30 mm Länge eingedichtet, auf das eine runde, 5 mm starke Messingscheibe M aufgelötet war. In den Mittelpunkt dieser Scheibe war eine kreisförmige Öffnung O von 1,5 mm Durchmesser gebohrt, die sich nach innen trichterförmig erweiterte. Das Fensterchen selbst, das mit weißem Siegellack über die Öffnung auf die Messingscheibe aufgekittet war, bestand aus Platinfolie von 0,005 mm Dicke und war mit einem

1) Vgl. eine ähnliche Konstruktion bei W. Seitz, Physik. Zeitschr. **10.** p. 830. 1909.

0,03 mm dicken Aluminiumblech zwecks Abdichtens überdeckt. Im Inneren des Platinarohres *P* war noch ein Diaphragma *D* aus Blei mit 2 mm runder Öffnung eingesetzt, damit die Kathodenstrahlen möglichst nur das Fenster treffen konnten und weitere X-Strahlenquellen vermieden wurden.

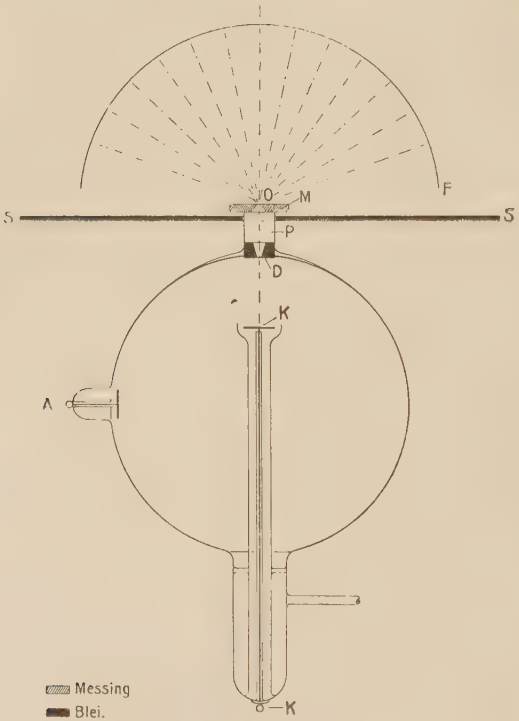


Fig. 7.

Es konnte nicht verhütet werden, daß die Kathodenstrahlen außer auf das Fenster noch auf ein Stück der inneren konischen Deckelbohrung fielen und dort ebenfalls X-Strahlen auslösten. Von diesen gelangt ein Teil durch das Fensterchen nach außen, und die durch ihn im Film hervorgerufene Schwärzung wird sich zu der von den eigentlichen Fensterstrahlen herrührenden Schwärzung addieren und das Resultat fälschen. Eine einfache geometrische Überlegung zeigt jedoch, daß innerhalb eines auf dem Fensterchen senk-

recht stehenden Strahlungskegels von 80° Öffnungswinkel, dem Winkel der konischen Bohrung der Öffnung *O* in dem Messingdeckel, eine Störung von diesen Strahlen nicht zu befürchten ist. Versuche bestätigten dies. Die Schwärzung auf den Films, die um das Fensterchen als Mittelpunkt kreisbogenförmig aufgestellt waren, nahm, sobald der Öffnungswinkel von 80° überschritten war, plötzlich stark zu.

Zur Evakuierung der Röhre wurde eine Gaedepumpe verwandt. Während der Versuche blieb die Röhre an der Pumpe angeschlossen.

Zur Fixierung des Films in die Kreisbogenform um das Fensterchen als Ausgangspunkt der X-Strahlen wurde die im III. und IV. Teil gebrauchte Anordnung wieder benutzt. Diese wurde neu in sich selbst justiert, daß die drei Visiere genau auf den Mittelpunkt der Abstandskreisbögen auf dem Grundbrett zeigten, und mit der Röhre, die von einem Holzstativ getragen wurde, auf einen Tisch montiert. Die Strahlen, die von der Röhrenwand aus den Film treffen konnten, wurden durch den großen Bleigummischirm *S*, durch den nur das Platinrohr mit dem Fensterchen herausragte, abgeblendet.

Die Einstellung der Apparate, der Gang des Versuches, Ausmessung der Films usw. war genau analog den früheren.

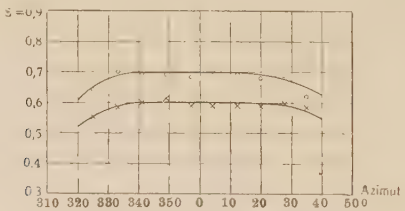
Der Abstand der Films von dem Fensterchen betrug bei allen Versuchen 12 cm. Als Stromquelle wurde meistens der Induktor mit Vorschaltung einer harten Ventilröhre verwandt, um möglichst kurze Expositionen zu erzielen. Bei langen Expositionszeiten, wie sie die Influenzmaschine verlangte, wurde durch Erwärmung der Glaswand und der Metallteile im Innern der Röhre bald so viel Gas frei, daß die Röhre unbrauchbar wurde, und erst wieder evakuiert werden mußte. Die Exposition, die bei Verwendung des Induktors ca. 1 bis 2 Minuten betrug, wurde in Teilexpositionen zu je 5 Sekunden mit Zwischenpausen von je 2 Minuten Dauer, während deren die Pumpe konstant im Betrieb war, ausgeführt. Die Strahlen waren bei allen Versuchen ziemlich weich.

In Kolonne 2 der Tab. 17 und in graphischer Darstellung 9 haben wir die Schwärzungswerte eines mit dieser Fensteranordnung, die wir zum Unterschied von den beiden anderen weiter unten beschriebenen mit *A* bezeichnen wollen, gewon-

nenen Doppelfilms. Unter v stehen die Werte des vorderen und unter h die des hinteren Films. In Kolonne 1 stehen die dazu gehörigen Azimute.

Tabelle 17.

Azimut	*A*		*B*		*C*	
	v	*h*	*v*	*h*	*v*	*h*
325°	0,64	0,55	0,78	0,70	0,96	0,73
333	0,70	0,58	0,83	0,77	0,92	0,71
341	0,69	0,60	0,90	0,80	0,91	0,68
349	0,69	0,62	0,88	0,82	0,89	0,64
357	0,68	0,59	0,92	0,83	0,87	0,67
4	0,70	0,59	0,91	0,83	0,93	0,65
12	0,69	0,59	0,90	0,85	0,88	0,65
20	0,68	0,59	0,86	0,81	0,91	0,72
28	0,69	0,60	0,83	0,78	0,95	0,75
35	0,62	0,58	0,77	0,67	0,93	0,75



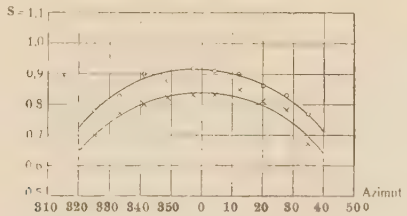
Graphische Darstellung 9.

Mit Ausnahme der Enden der Kurve ist augenscheinlich eine gleichmäßige Intensitätsverteilung vorhanden. Folgende Überlegung zeigt indessen, daß diese gleichmäßige Intensitätsverteilung nicht der wirklichen Intensitätsverteilung der X-Strahlen entspricht, sondern nur eine Folge der Versuchsanordnung ist.

Die senkrecht auf das Fensterchen auftreffenden Kathodenstrahlen werden nur in die oberste Schicht desselben eindringen. Die entstehenden X-Strahlen müssen daher noch eine Strecke Platina und Aluminium durchsetzen, um nach außen zu gelangen, die um so größer ist, je mehr die Strahlungsrichtung von der zum Fensterchen normalen abweicht. Die Strahlen

im Azimut 0° werden viel weniger durch Absorption geschwächt, wie die der größeren Azimute. Ein bei der Strahlung ursprünglich vorhandenes Minimum der Intensität bei Azimut 0° wird nach Passieren der Fensterschicht abgeflacht erscheinen. Wir können unsere durch den Versuch erhaltene gleichmäßige Intensitätsverteilung als eine solche mit ursprünglich vorhandenem, aber durch die ungleiche Absorption der Strahlen der verschiedenen Richtungen abgeflachten Minimum der Intensität bei Azimut 0° ansehen.

Diese Überlegung wurde durch folgenden Versuch gestützt, der in Tab. 17 unter *B* und in graphischer Darstellung 10 eingezeichnet ist. Bei diesem Versuch war dicht vor das Fensterchen eine Metallfolie angebracht von gleicher Dicke und Beschaffenheit wie die, aus dem das Fensterchen bestand. Die aus dem Fensterchen mit gleichmäßiger Intensitätsverteilung austretende Strahlung erlitt nun hier beim Durchgang durch die Metallfolie in den verschiedenen Richtungen abermals eine ungleichmäßige Absorption. Die Ausphotometrierung der Films ergab in der Tat, wie nach obiger Überlegung zu erwarten war, ein Maximum der Intensität bei Azimut 0°.



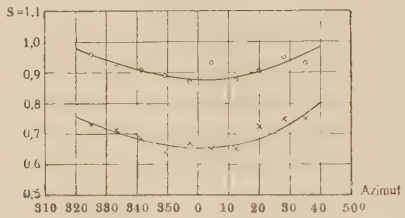
Graphische Darstellung 10.

Nach diesen Versuchsergebnissen konnte wohl das Vorhandensein eines Intensitätsminimum der X-Strahlen bei 0° Azimut als indirekt erwiesen betrachtet werden, indessen war es wünschenswert, auch auf direktem Wege eine Bestätigung hierfür zu erlangen.

Zu diesem Zwecke wurde das bisher benutzte Fensterchen von dem Messingdeckel entfernt und durch ein äußerst dünnes Fensterchen ersetzt, das auf folgende Weise erhalten war.

Auf ein lochfreies, sorgfältig ausgesuchtes Aluminiumblättchen von 10 mm Durchmesser und 0,01 mm Dicke war

durch Kathodenzerstäubung ein dünner Platinaüberzug hervorgerufen. Der Überzug war auf Glas noch durchsichtig. Dieses Blättchen wurde mit der Platinaschicht nach innen auf die kleine Öffnung in dem Messingdeckel aufgelegt und wiederum mit Siegellack abgedichtet.



Graphische Darstellung 11.

Die mit dieser Fensteranordnung *C* ausgeführten Versuche ergaben nun, wie auch aus Tab. 17, Kolonne 4 und aus graphischer Darstellung 11 zu ersehen ist, ein deutlich ausgeprägtes Minimum der Intensität der X-Strahlen bei Azimut 0°, wie es die Impulstheorie verlangt.

VII. Diskussion und Zusammenfassung der Resultate.

Bei der vorliegenden Arbeit waren zwei Meßmethoden verwandt worden, die photographische und die Methode der Ionisierung.

Beide Methoden haben zu ungefähr den gleichen Resultaten geführt. Im allgemeinen wird aber wohl die quantitative Messung nach der Ionisationsmethode befriedigender sein, wie die nach der photographischen Methode. Die Ionisationsmethode besitzt gegenüber der photographischen entschieden den Vorteil, daß sie nicht von so großen Zufälligkeiten, wie es die Filmfehler, ungleichmäßige Empfindlichkeit der photographischen Schicht, Fehler bei der Entwickelung usw. sind, betroffen wird.

Die photographische Methode scheint ja in einer Beziehung der Ionisationsmethode überlegen zu sein; nämlich, daß sie gestattet, alle zu untersuchenden Strahlungsrichtungen zu gleicher Zeit zu messen, während die Vergleichung mehrerer Strahlungs-

richtungen mit der Ionisationsmethode eine zeitliche Folge der einzelnen Messungen verlangt. Dieser Umstand kann bei eventueller Änderung des Zustandes der Röhre in bezug auf Härte und Intensität der Strahlen zu Fehlerquellen führen. Diese Mängel lassen sich indessen, wie wir aus den Versuchen gesehen haben, durch eine geeignete Meßmethode und Behandlungsweise der Röhre vollkommen beseitigen.

Im folgenden seien nun die Resultate, die in der vorliegenden Arbeit erzielt wurden, zusammengestellt:

1. *Die Intensität der X-Strahlen, die von einer Platinaantikathode ausgehen und durch eine 2 mm dicke Röhrenglaswand hindurchgegangen sind, erweist sich, sowohl nach der photographischen wie nach der elektrischen Methode untersucht, als abhängig vom Azimut, d. h. von dem Winkel, den die Achse des die X-Strahlen erzeugenden Kathodenstrahlbündels mit der Achse eines X-Strahlbündels bildet.*

2. *Das Maximum der Intensität liegt nicht senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Kathodenstrahlen, sondern ist nach der Seite der Azimute kleiner als 90° verschoben. Je größer die Härte der Strahlen ist, desto größer ist die Verschiebung.*

Zu diesen Resultaten ist auch J. Stark in der in der Einleitung erwähnten Arbeit über die Intensitätsverteilung der X-Strahlen einer Kohlenantikathode gekommen. R. Ham, dessen Arbeit ebenfalls in der Einleitung zitiert ist, findet die Intensität der X-Strahlen senkrecht zu den Kathodenstrahlen stets am größten. Die vorhandene Dissymmetrie der Strahlung in bezug auf die Ebene durch den Ausgangspunkt der X-Strahlen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Kathodenstrahlen ist ihm wahrscheinlich deshalb entgangen, weil er zu wenig Strahlungsrichtungen untersucht hat.

A. Sommerfeld[1]) hat gezeigt, daß diese unsymmetrische Verteilung der Intensität und die Verschiebung des Maximums mit der Härte aus der Bremstheorie der X-Strahlen gefolgert werden kann und gibt in seiner Abhandlung einige theoretische Intensitätsverteilungskurven für verschieden große Geschwindigkeiten der Kathodenstrahlen. Von einer Vergleichung unserer nach den beiden Methoden erhaltenen Verteilungskurven mit

1) A. Sommerfeld, Physik. Zeitschr. **10.** p. 969. 1909.

den theoretischen soll Abstand genommen werden. Denn einmal sind die Strahlen vor ihrer Messung durch 2 mm-Glas hindurchgegangen und wir hatten gesehen, welche Bedeutung dieser Umstand für einen Schluß auf die Vorgänge im Innern der Röhre haben kann; und dann ist beim Versuch die Ausbreitungsrichtung der die X-Strahlen erzeugenden Kathodenstrahlen wohl nicht genügend definiert wegen der Konkavität und der relativ beträchtlichen Größe der Kathode selbst.

3. Es werden erfolglose Versuche über eine quantitative photographische Methode beschrieben.

4. *Die Messung der Intensitätsverteilung nach der elektrischen Methode ergibt im Mittel einen Intensitätsunterschied der Strahlung Azimut 150° und der Strahlung Azimut 80° von 20 Proz.*

5. *Die Härte der X-Strahlen ist gleichfalls eine Funktion des Azimutes. Sie nimmt in den untersuchten Richtungen mit abnehmendem Azimut zu.* Eine einfache Überlegung, die Sommerfeld in der oben erwähnten Abhandlung anstellt, zeigt, daß dieses Phänomen ebenfalls eine Folgerung der Bremstheorie ist.

Stark konstatiert auch bei seinen Versuchen[1]) eine Abhängigkeit der Härte der X-Strahlen vom Azimut. Er gibt an, daß der Absorptionskoeffizient in dem Azimutfeld 0°—90° mit wachsendem Azimut zunächst bis zu einem Minimum abnimmt, um dann wieder zuzunehmen. Das Vorhandensein dieses Minimums hat wohl indessen nur seinen Grund in der Anordnung der Antikathode.

Die Antikathode ist bei Stark eine Kohlenscheibe, auf die die Kathodenstrahlen senkrecht auftreffen. Die dort in der Oberfläche entstehenden X-Strahlen müssen, um nach Azimuten $< 90°$ ausstrahlen zu können, erst durch die Kohle hindurchgehen, und die durchsetzte Dicke wird um so größer sein, je mehr man sich Azimut 90° nähert. Von den inhomogenen X-Strahlen wird in der Kohle vornehmlich der weiche Anteil absorbiert; der Absorptionskoeffizient der Strahlung beim Austritt aus der Kohlenscheibe wird um so kleiner sein, je mehr Kohle durchsetzt wird. Eine Vergleichung der von Stark veröffentlichen Schwärzungsverteilungskurven mit den entsprechenden Kurven, in denen die Absorptionskoeffizienten

1) J. Stark, Physik. Zeitschr. **11.** p. 110. 1910.

als Funktion der verschiedenen Azimute eingezeichnet sind, zeigt, daß die Minima der Koeffizienten in den Azimuten liegen, wo die Absorption der Strahlen in der Antikathode sehr groß ist. (Azimut 70° bis 90°.)

Ferner wird bei weicher Gesamtstrahlung ein größerer Teil in der Antikathode absorbiert werden, wie bei harter Gesamtstrahlung (vgl. Figg. 3 und 6 in der Starkschen Abhandlung). Die Strahlen der Richtungen, in denen verschieden dicke Kohleschichten durchsetzt werden müssen, werden um so größere Differenzen ihrer Absorptionskoeffizienten aufweisen, je weicher die Gesamtstrahlung war (vgl. Figg. 7 und 10 bei Stark). Das Minimum in der Verteilung der Absorptionskoeffizienten muß aus diesem Grunde bei weicher Strahlung stärker ausgeprägt sein, wie bei harter.

6. *Bei Azimut 0° wird ein Minimum der Intensität der X-Strahlen einer Platinaantikathode, die durch 0,01 mm Aluminium gegangen sind, photographisch nachgewiesen.*

Die vorliegende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität München vom Januar 1909 bis Juli 1910 ausgeführt.

Es sei mir hier gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Geheimrat Röntgen, für die Anregung zu dieser Arbeit, für das große Interesse, das er diesen Untersuchungen entgegenbrachte, sowie für die zahlreichen fördernden Ratschläge meinen ehrerbietigsten und herzlichsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Walter Friedrich, der Verfasser der vorliegenden Arbeit, ist der Sohn des Ingenieurs Karl Friedrich zu Aschersleben a. Harz. Er wurde am 25. Dezember 1883 in Salbke bei Magdeburg geboren und absolvierte im Jahre 1905 das humanistische Gymnasium zu Aschersleben. Darauf widmete er sich ein Semester an der Universität Genf und von da ab an der Universität München dem Studium der Physik.